

Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos

Estudio para la construcción de sistemas urbanos de
drenaje sostenible (SUDS) en el Campus de
Rabanales en Córdoba

Autor: Lidia Pérez Sánchez

Tutor: Dr Jaime Navarro Casas

Dep. Construcciones Arquitectónicas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Estudio para la construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el Campus de Rabanales en Córdoba

Autor:

Lidia Pérez Sánchez

Tutor:

Dr Jaime Navarro Casas

Catedrático de la Universidad

Dep. Construcciones Arquitectónicas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Trabajo Fin de Máster: Estudio para la construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el
Campus de Rabanales en Córdoba

Autor: Lidia Pérez Sánchez

Tutor: Dr Jaime Navarro Casas

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia

Agradecimientos

A todas las personas que me han ayudado y apoyado durante la redacción de este proyecto. Gracias.

Lidia Pérez Sánchez
Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos
Sevilla, 2017

Resumen

Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) tiene por objetivo fundamental el estudio de diferentes alternativas para la aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el campus de Rabanales de la Universidad de Córdoba. Esto supone la utilización de una serie de técnicas de diseño y constructivas no muy extendidas en España, pero de reconocida eficacia a nivel internacional.

En la actualidad la utilización de sistemas urbanos de drenaje sostenible tanto para proyectos nuevos como de rehabilitación de zonas urbanas es contemplado en multitud de normativas, incluida la española y su objetivo principal consiste en la mejora del drenaje de la escorrentía superficial a través de superficies permeables de manera que se reduzcan los volúmenes de agua a tratar en las depuradoras. Otra ventaja importante de los SUDS es la protección que ofrecen frente a eventos de lluvia extremos, puesto que reducen la escorrentía superficial y disminuyen las zonas encharcadas.

El primer paso para la aplicación de estos sistemas de drenaje sostenible en el campus se ha realizado un periodo de documentación e investigación para conocer los diferentes sistemas existentes en la actualidad, sus características y los requisitos técnicos necesarios para su correcto funcionamiento.

El siguiente paso ha sido realizar un diagnóstico de la situación actual del campus y considerando los lugares donde una aplicación de SUDS sería óptima y con la ayuda de la bibliografía técnica consultada, se han elegido una serie de sistemas para ser aplicados.

Una vez determinados los SUDS que idealmente se podrían construir, se han seleccionado 4 alternativas diferentes en función del número de sistemas a implantar y de las zonas del campus donde actuar. Los criterios seguidos para la generación de las alternativas fueron la mejora de los diferentes aparcamientos existentes en el campus, la zonificación del campus y la homogenización del presupuesto. Para la evaluación de las alternativas se ha realizado un análisis en base a criterios económicos, técnicos, ambientales y sociales.

Una vez escogida la alternativa más viable, se ha realizado el diseño de los diferentes SUDS

Abstract

The aim of this Master's Degree Final Project (TFM) is the study of different alternatives for the implementation of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in the Campus of Rabanales of the University of Cordoba. This involves the use of different design and construction techniques not widely used in Spain, but internationally well known.

Currently, the use of sustainable urban drainage systems for both new projects and the rehabilitation of urban areas is contemplated in many regulations, including the Spanish one, and its main objective is to improve the drainage of surface runoff through permeable surfaces in order to reduce the volumes of water to be treated in the treatment plants. Another important advantage of SUDS is the protection they provide against extreme rainfall events, as they reduce surface runoff and reduce wetlands.

The first step for the application of this sustainable drainage systems on campus has been a period of documentation and research to learn about the different systems existing at the present time, their characteristics and the technical requirements necessary for their proper operation.

The next step has been to make a diagnosis of the current situation of the campus and considering the places where a SUDS application would be optimal and with the help of the technical literature consulted, a series of systems have been chosen to be applied.

Once the SUDS that could ideally be built have been determined, 4 different alternatives have been selected depending on the number of systems to be implemented and the areas of the campus where to act. The criteria used to generate the alternatives were the improvement of the different car parks on campus, the zoning of the campus and the homogenization of the budget. For the evaluation of the alternatives, an analysis has been carried out based on economic, technical, environmental and social criteria.

Once the most viable alternative has been chosen, the design of the different LDS has been carried out..

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Motivación y Objetivo	1
2 Estado del arte	2
2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SUDS	2
2.2. EL CICLO NATURAL DEL AGUA Y LA URBANIZACIÓN	2
2.3. IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN DE LA ESCORRENTÍA	4
2.4. SUDS	4
2.4.1. DIFERENCIAS ENTRE LOS SUDS Y LOS SISTEMAS DE DRENAJE CONVENCIONALES	5
2.4.2. BENEFICIOS DE LOS SUDS	5
2.4.3. EMPLAZAMIENTO DE LOS SUDS	6
2.5. TIPOLOGÍA	6
2.5.1. MEDIDAS PREVENTIVAS	7
2.5.2. SISTEMAS DE CONTROL EN ORIGEN	8
2.5.3. SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y TRANSPORTE	15
2.5.4. SISTEMAS DE ALMACENAJE Y TRATAMIENTO PASIVO	17
2.6. ADAPTACIÓN A CLIMAS SEMIÁRIDOS	20
3 Metodología	21
3.1. ELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	21
3.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS	22
3.4. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	22
4 Análisis y Resultados	24
4.1. LOCALIZACIÓN	24
4.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO	26
4.2. CONDICIONANTES EN EL DISEÑO	26
4.2.1. GEOLOGÍA	26
4.2.2. CLIMATOLOGÍA	28
4.2.3. HIDROLOGÍA	39
4.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SUDS	46
4.3.1. INTRODUCCIÓN	46
4.3.2. CONTROL REGIONAL Y LOCAL	46
4.3.3. LOS IMPACTOS SOBRE EL ENTORNO	47
4.3.4. FACTORES FÍSICOS	48
4.3.5. FACTORES DEL MEDIO RECEPTOR	50
4.3.6. FACTORES AMBIENTALES Y SOCIALES	51
4.3.7. CAPACIDAD PARA GESTIONAR LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA URBANA	51

4.4. <i>DIAGNÓSTICO DEL CAMPUS</i>	53
4.5. <i>ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS</i>	63
4.5.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	63
4.5.2. <i>CRITERIOS DE VALORACIÓN</i>	64
4.5.3. <i>ALTERNATIVAS CONSIDERADAS</i>	65
4.5.4. <i>VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS</i>	72
4.5.5. <i>COMPARATIVA GRÁFICA DE LOS COSTES</i>	78
4.6. <i>DISEÑO DE LOS SUDS</i>	79
4.6.1. <i>DISEÑO DEL PAVIMENTO PERMEABLE</i>	79
4.6.2. <i>DISEÑO DE LA ZANJA DE INFILTRACIÓN</i>	84
4.6.3. <i>Diseño del área de biorretención</i>	86
4.7. <i>VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS</i>	89
4.7.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	89
4.7.2. <i>COSTES DE LAS ALTERNATIVAS</i>	89
5 Conclusiones	101
5.1. <i>RESUMEN</i>	101
5.2. <i>CONCLUSIÓN FINAL</i>	102
5.3. <i>PROPUESTAS PARA OTRAS LÍNEAS DE TRABAJO</i>	102
Bibliografía	103
ANEJO 1 PLANOS	104
<i>Plano Nº 1: Localización</i>	105
<i>Plano Nº 2: Zona de estudio</i>	106
<i>Plano Nº 3: SUDS Alternativa 1</i>	107
<i>Plano Nº 4: SUDS Alternativa 2</i>	108
<i>Plano Nº 5: SUDS Alternativa 3</i>	109
<i>Plano Nº 6: Perfil transversal pavimento permeable</i>	110
<i>Plano Nº 7: Perfil transversal zanja filtrante</i>	111
<i>Plano Nº 8: Perfil transversal area de biorretención</i>	112
<i>Plano Nº 9: Detalles constructivos</i>	113
ANEJO 2 PRESUPUESTO	114
1. <i>MEDICIONES</i>	114
1. <i>Movimiento de tierras</i>	114
2. <i>Pavimento permeable</i>	115
3. <i>Zanja filtrante</i>	116
4. <i>Área de biorretención</i>	117
2. <i>CUADRO DE PRECIOS</i>	120
3. <i>PRESUPUESTO POR CAPITULOS</i>	128
4. <i>PRESUPUESTO GENERAL</i>	132

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de las técnicas de drenaje sostenible	7
Tabla 2. Régimen de precipitaciones y temperaturas de Córdoba 1981-2010	30
Tabla 3. Valores extremos desde 1920	31
Tabla 4. Valor L del método Thornthwaite	32
Tabla 5. Clasificación tipos de invierno	34
Tabla 6. Clasificación tipos de verano	35
Tabla 7. Clasificación régimen hídrico	36
Tabla 8. Clasificación regímenes térmicos	38
Tabla 9. Cuantiles Y_t de la Ley SQRT-ET máx., también denominados Factores de Amplificación Kt	39
Tabla 10. Grupos hidrológicos de suelo a efectos de la determinación del valor inicial del umbral de escorrentía	44
Tabla 11. Valor inicial del umbral de escorrentía	45
Tabla 12. Impactos sobre el entorno producido por los SUDS	48
Tabla 13. Adecuación de los SUDS ante los condicionantes físicos del entorno	49
Tabla 14. Adecuación de los SUDS para su uso en suelos urbanos muy densos	50
Tabla 15. Adecuación de los SUDS a los condicionantes del medio receptor	51
Tabla 16. Adecuación de SUDS en función de factores ambientales y sociales	51
Tabla 17. Capacidad de los sistemas de tratamiento para gestionar y tratar las aguas pluviales	53
Tabla 18. Resumen análisis alternativas seleccionadas	77

Índice de Figuras

Figura 1. Impactos de la urbanización en el ciclo del agua	3
Figura 2. Los cuatro pilares de los SUDS	4
Figura 3. Estructura típica de un pavimento permeable de hormigón	10
Figura 4. Pavimento permeable modular	10
Figura 5. Dos tipos de superficies permeables. La primera mezcla bituminosa permeables, la segunda adoquines que permiten el paso del agua.	10
Figura 6. Cubierta verde inclinada en el Museo Histórico de Vendée en Francia	11
Figura 7. Zanja de infiltración	12
Figura 8. Pozo de infiltración	13
Figura 9. Depósito de infiltración	13
Figura 10. Área de biorretención en un parking	14
Figura 11. Esquema típico de un filtro de arena	15
Figura 12. Dren Filtrante	16
Figura 13. Cuneta verde	16
Figura 14. Franja filtrante	17
Figura 15. Depósito de lluvia	18
Figura 16. Depósito de detención	18
Figura 17. Estanque de detención en Northglenn, Estados Unidos	19
Figura 18. Humedal artificial	19
Figura 19. Campus de Rabanales	21
Figura 20. Aparcamiento con grandes acumulaciones de agua en la superficie después de un episodio de lluvias en el campus	21
Figura 21. Localización del Campus de Rabanales en Córdoba	24
Figura 22. Vista aérea del Campus de Rabanales	24
Figura 23. Evolución demográfica de Córdoba 1842-2015	25
Figura 24. Climograma de Córdoba	29
Figura 25. Mapa de isolíneas para la obtención coeficiente de variación C_v	40
Figura 26. Mapa de isolíneas I_1/I_d	42
Figura 27. Aparcamiento frente a los edificios Gregor Mendel, Severo Ochoa y José Celestino Mutis	53
Figura 28. Situación del aparcamiento en el campus	54
Figura 29. Aparcamiento general frente a los edificios Gregor Mendel, Severo Ochoa y José Celestino Mutis	54
Figura 30. Situación del aparcamiento en el campus	55

Figura 31. Fotografía de los jardines frente al aulario Averroes	55
Figura 32. Fotografía de los jardines frente al aulario Averroes	56
Figura 33. Situación de la zona ajardinada en el campus	56
Figura 34. Fotografía del aparcamiento	57
Figura 35. Situación del aparcamiento en el campus	57
Figura 36. Situación de la cuenta frente al polideportivo la Arieté	58
Figura 37. Fotografía de la cuneta frente al polideportivo la Arieté	58
Figura 38. Fotografía aparcamiento frente a las pistas deportivas	59
Figura 39. Situación aparcamiento frente a las pistas deportivas	59
Figura 40. Fotografía cuneta frente al edificio Leonardo Da Vinci	60
Figura 41. Situación cuneta frente al edificio Leonardo Da Vinci	60
Figura 42. Fotografía jardín junto al edificio Leonardo Da Vinci	61
Figura 43. Situación jardín junto al edificio Leonardo Da Vinci	61
Figura 44. Zona ajardinada frente al edificio Charles Darwin	62
Figura 45. Situación zona ajardinada frente al edificio Charles Darwin	62
Figura 46. Fotografía jardines frente al teatro griego	63
Figura 47. Situación jardines frente al teatro griego	63
Figura 48. Fotografía aparcamiento general del campus	66
Figura 49. Esquema aparcamiento con firme permeable	66
Figura 50. Fotografía aparcamiento frente a las pistas deportivas	67
Figura 51. Esquema aparcamiento con firme permeable	67
Figura 52. Fotografía cuneta frente al polideportivo la Arieté	67
Figura 53. Esquema zanja filtrante	68
Figura 54. Fotografía jardín junto al edificio Leonardo Da Vinci	68
Figura 55. Esquema área de biorretención	68
Figura 56. Fotografía jardines frente al aulario Averroes	69
Figura 57. Esquema área de biorretención	69
Figura 58. Fotografía cuneta frente al edificio Leonardo Da Vinci	70
Figura 59. Esquema zanja filtrante	70
Figura 60. Fotografía zona ajardinada frente al edificio Charles Darwin	70
Figura 61. Esquema dren filtrante	71
Figura 62. Fotografía zona ajardinada frente al teatro griego	71
Figura 63. Esquema depósito de infiltración	71
Figura 64. Fotografía aparcamiento frente al polideportivo la Arieté	72
Figura 65. Esquema aparcamiento con firme permeable	72
Figura 66. . Sección tipo zanja filtrante proyectada	85
Figura 67. Esquema básico de un área de biorretención	88

1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVO

El presente Trabajo Fin de Máster tiene como principal finalidad el estudio de diferentes alternativas para la aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el Campus de Rabanales ubicado en la ciudad de Córdoba. Esto supone la utilización de una serie de técnicas de diseño y constructivas no muy extendidas en España, pero de reconocida eficacia a nivel internacional.

En la actualidad la utilización de sistemas urbanos de drenaje sostenible tanto para proyectos nuevos como de rehabilitación de zonas urbanas es contemplado en multitud de normativas, incluida la española y su objetivo principal consiste en la mejora del drenaje de la escorrentía superficial a través de superficies permeables de manera que se reduzcan los volúmenes de agua a tratar en las depuradoras. Otra ventaja importante de los SUDS es la protección que ofrecen frente a eventos de lluvia extremos, puesto que reducen la escorrentía superficial y disminuyen las zonas encharcadas.

El tema de este trabajo está muy relacionado con la construcción y el saneamiento de las ciudades pero desde una visión donde la reducción del impacto sobre el medio ambiente es el objetivo primordial. Se trata de urbanizar o rehabilitar áreas según una serie de criterios de gestión del agua y la vegetación que permitan crear ambientes naturales y agradables dentro de la ciudad al tiempo que se disminuye el riesgo de que se produzcan inundaciones.

La elección del Campus de Rabanales se justifica al considerarse un espacio importante de la ciudad, abierto al tránsito de un gran número de personas, ya sea estudiantes, profesores o trabajadores del campus, y un referente para el resto de la población que puede servir de modelo para la implementación de estas medidas en otros lugares. Actualmente el campus puede verse beneficiado por la inclusión de estos sistemas de drenaje, puesto que existen algunas zonas donde el drenaje de las aguas pluviales es insuficiente, además de que la gran mayoría de las zonas de aparcamiento se encuentran sin asfaltar, con terreno muy irregular, produciéndose durante episodios de lluvias gran cantidad de charcos y zonas embarrizadas, que suponen un perjuicio hacia los usuarios. Además la mejora visual que suponen la introducción de espacios verdes es también un punto muy importante a su favor.

Para la realización de este Trabajo Fin de Máster se plantean los siguientes objetivos de partida:

1. Analizar el estado actual del Campus.
2. Estudiar las principales técnicas de drenaje sostenible.
3. Considerar las condiciones climáticas y geotécnicas de la zona.
4. Proponer una serie de alternativas de construcción de técnicas de drenaje sostenible.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SUDS

Los sistemas de drenaje sostenible (SUDS) son sistemas de drenaje destinados a contribuir al logro del desarrollo sostenible. En lugar de las tradicionales tuberías y alcantarillados, la filosofía de los SUDS es la de replicar lo más fielmente posible el drenaje de un lugar antes de que fuera modificado por el desarrollo del hombre.

El objetivo es imitar el drenaje natural de una zona no urbanizada, donde la lluvia es absorbida por el suelo y satura el terreno y la vegetación antes de que una escorrentía importante se produzca. Los sistemas están diseñados tanto para gestionar los riesgos medioambientales que resultan de la escorrentía urbana como para contribuir donde sea posible a la mejora medioambiental.

Los elementos que conforman los SUDS generalmente son a pequeña escala y relativamente superficiales. Normalmente requieren el uso de operaciones de construcción y urbanismo simples, como son la excavación, relleno, clasificación, desbroce, siembra y plantación.

La actuación y operación de los SUDS depende de una planificación e implementación cuidadosa durante la fase de construcción, ya que hay algunas consideraciones específicas que requieren cambios a prácticas de construcción convencionales. El uso de plantas inapropiadas, la falta de integración entre la construcción y el paisajismo, entre otros, pueden ser la causa de una pobre actuación de los SUDS.

2.2. EL CICLO NATURAL DEL AGUA Y LA URBANIZACIÓN

Según Woods-Ballard [17] en la publicación “The SUDS Manual”, la urbanización altera el paisaje natural y afecta a los procesos hidrológicos de captación de agua. El ciclo natural del agua mantiene un balance del agua en circulación mediante la evapotranspiración, la precipitación, la infiltración/ recarga de acuíferos y la absorción y transpiración de las plantas. La urbanización reduce la permeabilidad de la tierra, reemplazando el drenaje libre del suelo con superficies impermeables, tales como tejados, carreteras, parkings, etc. El desarrollo a veces elimina la vegetación natural que intercepta y ralentiza la escorrentía, devuelve la lluvia al aire, reduce la cantidad de agua que puede infiltrarse en el suelo y esto puede incrementar significativamente la tasa de escorrentía superficial.

La Figura 1 muestra el impacto que la urbanización tiene en la captación de agua reduciendo su permeabilidad e incrementando la escorrentía superficial.

El método tradicional de drenaje superficial de la escorrentía en áreas construidas, a través de sistemas de tuberías enterradas y tanques de almacenamiento, fue pensado para proteger la salud pública y prevenir inundaciones quitando el agua de la fuente de la manera más rápida posible. En muchas ciudades y pueblos, la escorrentía superficial es drenada mediante sistemas combinados donde se mezcla con las aguas residuales. En estos sistemas, esto puede suponer un problema significativo e importante en el trabajo de los tratamientos de aguas residuales. Las inundaciones (contaminadas con las aguas residuales) pueden provenir de alcantarillas sobrecargadas. En los procedimientos más recientes, los sistemas separativos de aguas residuales han sido previstos para separar las aguas contaminadas de las aguas superficiales. El agua contaminada es llevada mediante tuberías a las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), mientras el agua superficial es transportada a las estaciones de tratamiento de aguas pluviales (ETAP) pero en algunos casos se vierte al cauce más cercano. Estos sistemas separativos reducen el riesgo de las alcantarillas desbordadas de los sistemas mixtos, pero todavía transfieren los contaminantes presentes en la escorrentía urbana directamente a las aguas

receptoras.

La escorrentía superficial en una cuenca de captación urbanizada moviliza el sedimento, los residuos y una amplia gama de contaminantes relacionados con las actividades humanas (aceites, metales, fertilizantes, pesticidas, desechos de animales, sales y patógenos). Sin intervención, éstos eventualmente irán a parar a los ríos, acuíferos y al mar, suponiendo un riesgo para el medioambiente y la salud pública.

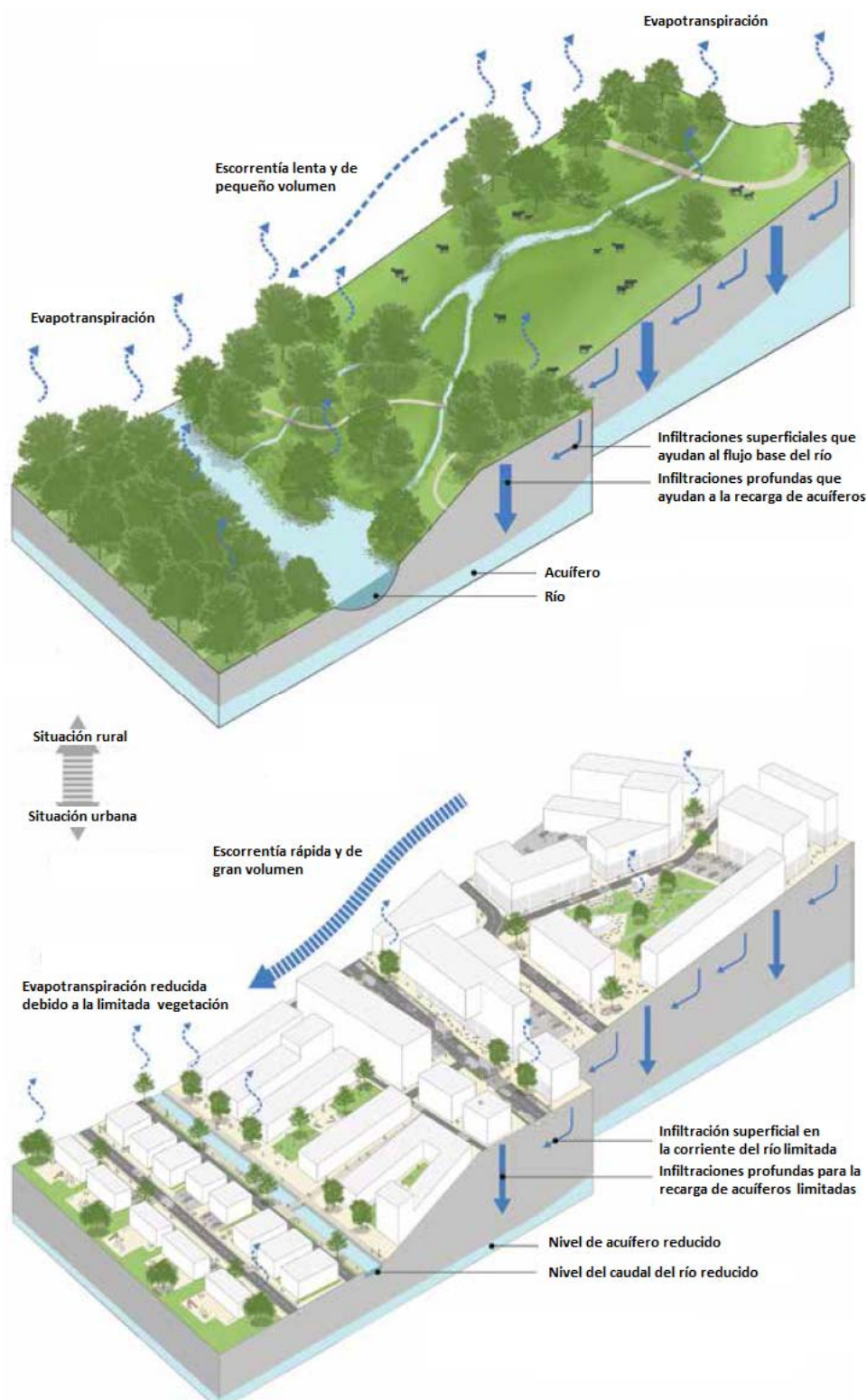


Figura 1. Impactos de la urbanización en el ciclo del agua (Fuente: CIRIA, 2008)

2.3. IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN DE LA ESCORRENTÍA

Cuando la lluvia cae sobre un paisaje natural, ésta es absorbida por el suelo (infiltración), se evapora, es recogida a por las plantas (evapotranspiración) y algo de ella eventualmente encuentra su camino en corrientes y ríos.

Estas fases del ciclo de agua pueden ser impedidas cuando la tierra está alterada por el desarrollo. En áreas urbanas, tiende a existir menos suelo permeable disponible para infiltración y menos vegetación para la evapotranspiración. Cuando la lluvia cae en superficies impermeables, mucha parte de ésta se convierte en escorrentía superficial, lo cual puede causar inundaciones, contaminación y problemas de erosión.

Las investigaciones en este campo muestran que si no cambiamos el modo de diseñar nuestras áreas urbanas y la gestión de la escorrentía superficial de manera más efectiva, estos problemas van a empeorar. Las proyecciones realizadas debidas al cambio climático muestran que es probable que las lluvias intensas y las inundaciones se volverán más frecuentes.

Además de contribuir a la existencia de más escorrentía superficial, el aumento de la urbanización ha reducido la vida salvaje en las zonas urbanas, Donde existen espacios verdes, estos están normalmente separados unos de otros, lo que significa que los hábitats de la vida animal se vuelven fragmentados, impidiendo que algunas especies sean capaces de moverse entre ellos. Al final esto lleva a algunas especies a perderse de nuestros lugares verdes, lo que supone un perjuicio para los ecosistemas locales.

2.4. SUDS

Los sistemas de drenaje sostenible (SUDS) están diseñados para maximizar las oportunidades y beneficios que podemos obtener de la gestión de las aguas superficiales.

Existen cuatro beneficios principales que se pueden lograr por los SUDS: cantidad de agua, calidad del agua, amenidad y biodiversidad. Nos referimos a ellos como los cuatro pilares de los SUDS (Figura 2).

Los SUDS pueden tomar muchas formas, tanto sobre como bajo la superficie. Algunos tipos de SUDS incluyen plantas, otros incluyen productos manufacturados. En términos generales, los SUDS que están diseñados para gestionar y usar el agua de lluvia cerca de donde cae, en la superficie y la vegetación incorporada, tienden a proporcionar los mejores beneficios.



Figura 2. Los cuatro pilares de los SUDS (Fuente: CIRIA, 2008)

2.4.1. DIFERENCIAS ENTRE LOS SUDS Y LOS SISTEMAS DE DRENAJE CONVENCIONALES

Si son apropiadamente diseñados, contruidos y mantenidos, los SUDS son mucho más sostenibles que los sistemas de drenaje convencionales ya que pueden mitigar muchos de los efectos adversos de una escorrentía de agua urbana en el ambiente. Esto se consigue:

- Controlando la tasa y los volúmenes de escorrentía, y por lo tanto disminuyendo el riesgo de inundaciones.
- Reduciendo las concentraciones de contaminantes.
- Ayudando en la recarga natural de acuíferos.
- Contribuyendo a la mejora del valor estético de las áreas desarrolladas.
- Proporcionando hábitats para la vida animal salvaje en áreas urbanas y oportunidades para la mejora de la biodiversidad.

Como están pensados para imitar la naturaleza, las técnicas de construcción y paisajismo requeridas normalmente son simples. Sin embargo, es importante darse cuenta que los principios descritos encima necesitan ser aplicados tanto en la fase de construcción como en el producto acabado.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la construcción, los SUDS requieren de atención específica en:

1. Las fases de planificación y construcción para asegurar que la actuación de las instalaciones no está comprometida por una sobre compactación o una obstrucción por escombros, por ejemplo.
2. La planificación de la construcción teniendo en cuenta la programación y las medidas de control de la erosión, la sedimentación y la contaminación, junto con la necesidad de la declaración de métodos e inspecciones por parte de el diseñador.
3. La erosión que reduce la efectividad de los SUDS, y añadido a la carga de limos y a otras características del drenaje aguas abajo con las que se tendrá que lidiar.
4. Las instalaciones de captación de sedimentos, las cuales son necesarias para la reducción de las descargas de sedimentos aguas abajo.
5. La escorrentía superficial y el agua bombeada desde los lugares de construcción los cuales no deben contaminar a las aguas receptoras.

2.4.2. BENEFICIOS DE LOS SUDS

Woods-Ballard [17] expone una serie de beneficios que ofrece la aplicación de SUDS:

- Ofrecen un drenaje de alta calidad a la vez que ayudan a las áreas urbanas para hacer frente a lluvias intensas. También contrarrestan algunos de los impactos en nuestro ciclo del agua causados por el aumento de la urbanización, como puede ser la reducción de la infiltración que supone una disminución de los recursos subterráneos.
- Pueden mejorar la calidad de vida en zonas urbanas y en desarrollo haciéndolas más dinámicas, visualmente atractivas, sostenibles y más resistentes al cambio. Esto lo consiguen mejorando la calidad del aire, regulando la temperatura de los edificios, reduciendo el ruido y ofreciendo oportunidades recreativas y educativas. Un diseño de los SUDS de la calidad que está integrado dentro del diseño del desarrollo puede atraer turismo e investigación, lo que conlleva un crecimiento para el área local
- Además de ser diseñados para hacer un uso eficiente del espacio disponible, los SUDS normalmente cuestan menos que implementar un sistema de tuberías subterráneo.
- Protegen a la personas y propiedades del riesgo de inundación debido al desarrollo.
- Protegen la calidad de las aguas subterráneas y superficiales de la escorrentía contaminada.
- Protegen los regímenes de las corrientes naturales de los ríos, lagos y arroyos.

- Ayudan a los hábitats naturales locales y a los ecosistemas asociados fomentando la biodiversidad.
- Mejoran la humedad del suelo y reponen los niveles de acuíferos agotados.
- Proveen a la sociedad de un valioso suministro de agua.
- Crean lugares atractivos donde las personas quieren vivir, trabajar y jugar a través de la integración del agua y los lugares verdes con el medio construido.
- Apoyan la creación de desarrollos que son capaces de hacer frente a los cambios en el clima.

2.4.3. EMPLAZAMIENTO DE LOS SUDS

Los SUDS se pueden utilizar en cualquier lugar. Es posible emplearlos tanto para nuevos desarrollos como para remodelaciones y pueden ser actualizados dentro de sistemas ya existentes.

Los SUDS pueden usarse en lugares muy pequeños. Un buen diseño del sistema maximiza el uso del espacio disponible repartiendo eficientemente tanto el drenaje como otras funciones para ayudar a alcanzar los objetivos del lugar. Por ejemplo:

- Una calzada existente puede ser usada como parking.
- Un tanque de retención puede tener también un uso recreacional.
- Los árboles y los techos verdes pueden ayudar a regular la temperatura de los edificios.

2.5. TIPOLOGÍA

En la tabla a continuación se ofrece un resumen de los diferentes tipos de SUDS existentes, agrupados en categorías, realizado en base a las diferentes referencias bibliográficas consultadas [1],[4],[17].

Categoría dentro del drenaje sostenible		Técnica de drenaje sostenible	
A. Medidas No estructurales (Preventivas)		1. Legislación	
		2. Formación y participación ciudadana	
		3. Limpieza y mantenimiento	
		4. Programación económica	
Medidas estructurales (SUDS)	B. Sistemas de control en origen	4. Superficies permeables	4.1. Pavimentos permeables
			4.2. Cubiertas verdes
		5. Pozos de infiltración y zanjas de infiltración	
		6. Depósitos de infiltración	
		7. Áreas de biorretención	
		8. Filtros de arena	
	C. Sistemas de captación y	7. Drenes filtrantes o drenes franceses	

	transporte	8. Cunetas verdes	
		9. Franjas filtrantes	
	D. Sistemas de almacenaje y tratamiento pasivo	10. Depósitos de lluvia	
		11. Depósitos de detención	11.1. Enterrados
			11.2. Superficiales
		12. Estanque de detención	
		13. Humedales artificiales	

Tabla 1. Clasificación de las técnicas de drenaje sostenible (Fuente: Ana Abellán, 2015 y Daniel Castro, 2008)

2.5.1. MEDIDAS PREVENTIVAS

Las medidas preventivas se consideran como técnicas no estructurales puesto que para llevarlas a cabo no se realiza ningún tipo de obra. Son definidas como actuaciones y decisiones que se llevan a cabo para evitar los problemas producidos por la escorrentía superficial.

2.5.1.1. Legislación

Es esencial el respeto a la ley a través de la información a los ciudadanos y el cumplimiento de las penas o sanciones. Legalmente, existen cinco formas de intervención municipal en el medio ambiente urbano que, correctamente empleadas, pueden fomentar la aplicación de los SUDS en cualquier municipio:

- Regulación: ordenanzas sobre medio ambiente.
- Control preventivo: licencias y otros instrumentos de control.
- Información: acceso libre a la información de las administraciones públicas y difusión de la misma entre los ciudadanos.
- Planeamiento urbanístico: instrumento fundamental de protección del medio ambiente urbano y en el correcto diseño del drenaje.
- Sanciones: multas y penalizaciones asociadas al incumplimiento de todo lo anterior.

El acercamiento del agua potable a la población y el alejamiento del agua residual han sido funciones legalmente de ámbito municipal desde los tiempos más remotos. Por ley, las aguas residuales urbanas se definen como aguas residuales domésticas o mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial. Hoy en día es necesario adaptar el marco legal municipal para fomentar la gestión separada de las aguas pluviales, presentando el uso de SUDS como una opción viable y ecológica.

Siempre dejan claras desde el principio las correspondientes responsabilidades de construcción y mantenimiento de estos sistemas separativos naturalizados.

Sin embargo, el desarrollo de legislación adecuada y la generalización de los SUDS tan sólo son posibles mediante la creación de grupos de trabajo expertos dentro de redes más amplias de colaboración. Estos grupos generan documentos de síntesis de gran importancia, recogiendo desde los aspectos legales hasta los aspectos técnicos básicos que deben ser considerados: glosario, descripciones, normas y detalles básicos de diseño, legislación aplicable, responsabilidades de mantenimiento, garantías, bibliografía de referencia, organizaciones vinculadas, acrónimos de interés y sitios de Internet relacionados. En base a estos documentos, cualquier municipio está en situación de incorporar a su legislación la alternativa del drenaje sostenible a través de los SUDS, contando con suficientes garantías de éxito.

2.5.1.2. Formación y participación ciudadana

De la adecuada formación de la sociedad dependen las soluciones futuras a la mayoría de los problemas actuales, incluidos los problemas asociados al drenaje urbano. La limpieza de las calles se ha considerado históricamente como uno de los aspectos más importantes para evitar la contaminación de la escorrentía urbana y por tanto la contaminación difusa. Esta limpieza depende fundamentalmente de la educación y actitud de los ciudadanos. Para asegurar una correcta limpieza urbana son fundamentales costumbres como la recogida de los excrementos de animales de compañía, el uso de las papeleras para cualquier depositar cualquier residuo generado en el tránsito urbano o el no sacudir el polvo doméstico por las ventanas. Las normativas municipales, el control de su cumplimiento y las sanciones impuestas a los infractores ayudan a instaurar estos comportamientos, pero son insuficientes frente a la falta de concienciación de la sociedad. Por ello, son necesarias campañas de publicidad y acciones formativas complementarias que sirvan para informar y convencer a los ciudadanos de la importancia de estas acciones.

A parte de los comportamientos generales de la sociedad, es de destacar el papel primordial que juega la formación de los propietarios particulares de instalaciones como gasolineras, talleres, desguaces y zonas industriales, así como de las autoridades encargadas de su control, en la gestión adecuada de las aguas de lluvia. Estos lugares deben estar provistos de separadores de hidrocarburos y balsas de retención para hacer frente a posibles vertidos accidentales. Estas instalaciones de tratamiento de la escorrentía superficial contaminada no sólo sirven para evitar multas, sino también para evitar problemas ambientales de contaminación difusa. Por ello no basta únicamente con la instalación de los sistemas adecuados, sino que es necesario asegurar su correcto mantenimiento y control para garantizar su buen funcionamiento a lo largo del tiempo.

2.5.1.3. Limpieza y mantenimiento

La limpieza y el mantenimiento frecuentes del sistema de colectores subterráneos, de canales superficiales y de las carreteras y calles para reducir la acumulación de contaminantes que posteriormente serán arrastrados por el agua de escorrentía.

2.5.1.4. Programación económica

Ninguna medida preventiva puede tener éxito sin una adecuada inversión económica que asegure que se lleva a cabo en las mejores condiciones posibles. Las administraciones públicas, y en especial las autoridades municipales, deben contar con una partida del presupuesto anual que permita elaborar y hacer cumplir adecuadamente las normativas pertinentes que faciliten la generalización de la aplicación del drenaje urbano sostenible. Estos presupuestos deben incluir partidas dedicadas específicamente a realizar las campañas de formación y publicidad necesarias para implicar a toda la sociedad la resolución de los problemas de drenaje.

Además, sin un adecuado nivel de inversión económica por parte de las administraciones públicas, no es posible afrontar la elaboración de manuales de diseño y construcción, recomendaciones o programas de seguimiento que aseguren la correcta aplicación, ejecución y mantenimiento de los SUDS. Destacar como primordial el último aspecto, pues en todos los casos es necesario dedicar una parte importante del presupuesto al mantenimiento de los sistemas construidos, pues no sirve de nada poner en marcha una solución si no se asegura su continuidad a lo largo del tiempo.

2.5.2. SISTEMAS DE CONTROL EN ORIGEN

Los sistemas de infiltración o de control en origen implican la infiltración al terreno de la escorrentía superficial. Para validar la infiltración al terreno es necesario un completo estudio geotécnico e hidrogeológico para conocer en detalle el tipo de suelo, su permeabilidad, la situación del nivel freático y la posible afección del agua infiltrada. Así, por ejemplo, estos sistemas no deben situarse a menos de cinco metros de distancia de un edificio o carretera para evitar que el agua infiltrada afecte a las cimentaciones de dichas estructuras.

Además, si se va a realizar infiltración al terreno debe comprobarse que la distancia al nivel freático sea adecuada al nivel de protección de las aguas subterráneas de la zona en cuestión.

Existen emplazamientos en los que la permeabilidad del terreno es muy baja, el nivel freático muy superficial o la estabilidad del material saturado muy baja, en estos casos no es recomendable plantear la infiltración directa al terreno sino alternativas de drenaje diferido a través de desagües de emergencia subterráneos, sin dejar de emplear estos sistemas de infiltración y control en origen.

Las técnicas de control en origen están diseñadas para atajar desde el inicio la formación de la escorrentía superficial. Con la aplicación de estos sistemas se pretende recuperar para las ciudades parte de la capacidad de infiltración que tenían antes de la urbanización de los suelos naturales. Esto se consigue aumentando el porcentaje de superficie permeable en la ciudad mediante zonas verdes, pavimentos permeables, depósitos de infiltración y pozos o zanjas de infiltración.

2.5.2.1. Superficies permeables

Una superficie permeable es cualquier área que permite la infiltración del agua. Las superficies permeables pueden ser resistentes al tráfico o no. Las resistentes al tráfico reciben el nombre de pavimentos permeables, siendo firmes permeables si todas las capas de la sección resistente permiten el paso del agua. Por su parte, las superficies permeables que no tienen misión resistente forman parte de paseos, parques, jardines, alcorques, glorietas, cubiertas verdes, etc.

Las superficies o pavimentos permeables (pervious pavements) pueden clasificarse en pavimentos porosos (porous pavements), como el aglomerado asfáltico poroso, o pavimentos impermeables en disposición permeable (permeable pavements), como los adoquines con juntas permeables.

La superficie permeable elegida para un determinado emplazamiento, además de ofrecer un acabado y una resistencia adecuados a su localización y uso, debe asegurar la captación de la intensidad de lluvia de diseño, que varía según la zona climática. Además hay que tener en cuenta que esta permeabilidad superficial se ve afectada con el paso del tiempo por aportes exteriores de sedimentos arrastrados por el viento o la escorrentía, que pueden llegar a producir el bloqueo y la colmatación de la superficie haciendo que se comporte como una superficie impermeable, perdiendo así su funcionalidad.

En los firmes permeables, el agua atraviesa la superficie permeable, que actúa a modo de filtro, hasta la capa inferior, que actúa de reserva, de manera que se depura y se retiene parte de la escorrentía superficial, atenuando la contaminación difusa y las puntas del caudal de en el sistema de saneamiento.

Las distintas capas permeables actúan como filtros reteniendo partículas de distintos tamaños, aceites y grasas. Los hidrocarburos retenidos pueden llegar a ser biodegradados. Las investigaciones actuales que se están llevando a cabo en distintas universidades, entre ellas la Universidad de Cantabria, están dirigidas a aumentar la eficacia en biodegradación de hidrocarburos dentro de este tipo de firmes.

La cantidad de agua que son capaces de almacenar estos sistemas depende del índice de huecos y del volumen de material de relleno o subbase. El agua almacenada puede ser infiltrada al terreno, drenada inferiormente o bombeada para usos no potables.

Se controlará el exceso mediante un desagüe superior o un drenaje superficial diseñado a tal efecto.

La variedad de superficies posibles ofrece al arquitecto o ingeniero una amplia gama de materiales, colores, texturas y usos, permitiendo el ajuste de las superficies permeables en cualquier paisaje urbano.

En España no existen normas ni manuales sobre la aplicación de este tipo de superficies y las empresas que comercializan estos sistemas, como por ejemplo la australiana Atlantis, son las encargadas de ofrecer orientación y guía sobre su diseño y ejecución. Es debido a esta ausencia de recomendaciones técnicas que la utilización de estos sistemas se ve reducida a zonas de poca responsabilidad. Estas zonas son principalmente: aparcamientos de vehículos ligeros, accesos a zonas residenciales, caminos y patios.

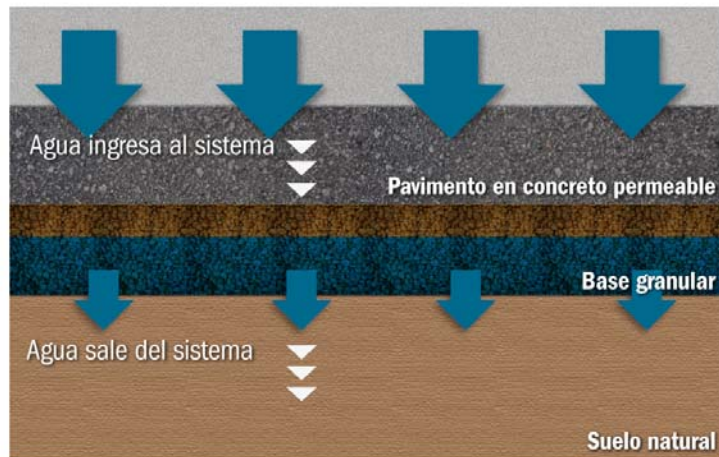


Figura 3. Estructura típica de un pavimento permeable de hormigón (Fuente: blog.360gradosenconcreto.com)



Figura 4. Pavimento permeable modular (Sudsostenible.com)



Figura 5. Dos tipos de superficies permeables. La primera mezcla bituminosa permeables, la segunda adoquines que permiten el paso del agua. (Fuente: Environmental Protection Agency y Escofet)

2.5.2.2. Cubiertas verdes

Las cubiertas verdes están pensados para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Estructuralmente consisten en un sistema multicapa colocado sobre los tejados de los edificios sobre el que se favorece el crecimiento de vegetación. Este sistema, además retiene contaminantes, actúa como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto “isla de calor” que se produce en las ciudades.

Las cubiertas vegetadas incluyen terrazas, tejados y balcones tanto de uso público como privado y pueden tener o no con acceso directo a ellas. Algunas inclusive sirven de espacio lúdico.

Existen varias categorías de cubiertas vegetadas:

–**Extensivas**: Tienen un suelo delgado y un escaso o ningún requerimiento de riego, el agua de retención es escasa y los nutrientes limitados.

–**Intensivas**: Son suelos más profundos, con requerimientos de riego, bastante agua de retención y de fértiles condiciones para las plantas.

–**Intensiva simple**: Se construye usando varios sustratos en profundidad y combinando características de los tipos intensivas y extensivas.

El tipo de diseño de cubierta vegetada determinará las clases de plantas que pueden crecer, la posibilidad de acceso público, las consideraciones estructurales, el mantenimiento requerido y los costes.

Este sistema de drenaje, además de reducir los picos y volúmenes de escorrentía, provoca una gran reducción de los sólidos en suspensión y una moderada eliminación de los metales pesados transportados a la red de drenaje. También cabe destacar su alto valor ecológico debido al oxígeno que produce la vegetación. La implantación de estos sistemas puede suponer un aumento en el presupuesto de la construcción, especialmente en el apartado estructural (especialmente si las cubiertas son intensivas). También puede ser importante el coste de mantenimiento de la cubierta vegetal, por lo que se deberá tener especial cuidado en la elección de la tipología y el diseño.



Figura 6. Cubierta verde inclinada en el Museo Histórico de Vendée en Francia (Fuente: Plan.01)

2.5.2.3. Zanjas de infiltración

Los zanjas de infiltración son sistemas diseñados para capturar un porcentaje del volumen total de escorrentía y retenerla para infiltrarla progresivamente en el terreno. Consisten en una zanja excavada en el terreno y rellena de un material granular que permite el almacenamiento y la infiltración de la escorrentía urbana en las zonas adyacentes a la zanja. La infiltración hacia el terreno se realiza en un periodo de 2 días.

La principal ventajas que se derivan de su utilización son:

- Tratan la contaminación asociada a la escorrentía urbana
- Ayudan a preservar el balance hídrico.
- Proporcionan un volumen de recarga de los acuíferos
- Contribuyen a preservar los caudales base de pequeños arroyos y cauces.

Sin embargo, presenta una serie de desventajas, que son:

- Derivado de su propia naturaleza, no pueden emplearse en suelos poco permeables.
- El nivel freático y las estructuras de roca deben situarse por debajo de la base del sistema para permitir las filtraciones al terreno.
- Debe prestarse atención a la posible contaminación del suelo.



Figura 7. Zanja de infiltración (Fuente: sudsostenible.com)

2.5.2.4. Pozos de infiltración

Los pozos de infiltración son pozos poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante (granular o sintético), a los que vierte escorrentía de superficies impermeables contiguas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas, e infiltrarlas hacia el subsuelo.

El único efluente del que disponen es de la infiltración hacia el subsuelo, por lo que para su correcto funcionamiento, será necesario que dicho subsuelo tenga una alta permeabilidad, también será necesario que sea estable cuando esté saturado, ya que de lo contrario comprometería la estabilidad estructural de las cimentaciones cercanas al pozo en los episodios de lluvia.

Los pozos de infiltración son estructuras sencillas, de fácil construcción y bajos costes de mantenimiento, que además facilitan la recarga de acuíferos infiltrando un elevado caudal en relación con la superficie que ocupan, ya que apenas ocupan espacio. Pero aun así, con unas adecuadas características del subsuelo, reducirán considerablemente tanto el caudal como la contaminación de la escorrentía.

Estos sistemas tienen una gran efectividad en la eliminación de nutrientes, sedimentos, materia orgánica, trazas de metales... mejorando la hidrología urbana y la recarga de acuíferos. Dada su fácil construcción, bajo coste de mantenimiento, y el reducido espacio que ocupan, el uso de estos sistemas es muy recomendable en zonas de poco espacio (como pueden ser las urbanas) siempre que su suelo cumpla las condiciones requeridas (estabilidad y permeabilidad).



Figura 8. Pozo de infiltración (Fuente: sudsostenible.com)

2.5.2.5. Depósitos de infiltración

Los depósitos de infiltración son superficies permeables deprimidas que constituyen embalses superficiales donde se concentra y almacena el agua de lluvia procedente de cuencas de un tamaño considerable, hasta que se produce su infiltración al terreno al cabo del tiempo.

La forma de los depósitos de infiltración es irregular, adaptándose a la orografía de la localización. Los taludes laterales deben ser suaves y deben estar cubiertos de vegetación. Los depósitos de infiltración se diseñan para albergar volúmenes mayores que los pozos y las zanjas de infiltración gestionando con el mismo principio de control en origen cuencas vertientes mayores.



Figura 9. Depósito de infiltración (Fuente: construible.es)

2.5.2.6. . Áreas de biorretención

La áreas de biorretención son sistemas que permiten un tratamiento de la escorrentía a través de la vegetación y suelos preparados o autóctonos. Si no disponen de un suelo preparado específicamente, se denominan jardines de lluvia. En estos sistemas tienen lugar procesos de interceptación de la lluvia, evapotranspiración, infiltración, eliminación de contaminantes... Reduciéndose de esta manera el volumen de la escorrentía y su contaminación. Estos dispositivos se pueden ubicar en una gran variedad de espacios urbanos gracias a la flexibilidad que ofrece su diseño y construcción, y son especialmente útiles en la eliminación de sólidos en

suspensión, y además, tienen un gran valor tanto estético como ecológico. En lo referente a la hidrología, los jardines de lluvia reducen la escorrentía generada en la zona donde se implantan gracias a la infiltración, evapotranspiración, y aumento del número de Manning de la superficie.

Estos sistemas se pueden unir a los pozos de infiltración, aumentando su efectividad en la eliminación de escorrentía.



Figura 10. Área de biorretención en un parking (Fuente: *Southeast Michigan Council of Governments*)

2.5.2.7. Filtros de arena

En los filtros de arena se almacena el agua temporalmente y la hacen atravesar varias capas de arena, mejorando así su calidad en el flujo de salida. Éste puede ir directamente a la red de alcantarillado o infiltrarse en el subsuelo.

Los filtros de arena constan de dos cámaras, en la primera se eliminan flotantes y sedimentos pesados, y en la segunda tiene lugar el proceso de filtración a través de un lecho de arena. A veces se añade una tercera cámara, la de descarga.

Esta técnica es poco viable en el control de caudales punta a menos que se traten áreas inferiores a 4 hectáreas o los sucesos de lluvia sean poco intensos, de un período de retorno de dos años. Además, para realizar su actividad, la pendiente ha de ser inferior al 6%, la diferencia de cotas entre la entrada y la salida como mínimo será de 0,6 metros y la carga hidráulica de 1,5 m., no pudiendo haber un flujo permanente de agua, además se deben evitar infiltraciones en caso de cercanía a un acuífero.

Tipos de filtros:

- **Filtros perimetrales**, son estructuras enterradas construidas a lo largo del lateral de una superficie impermeable.
- **Filtros enterrados**, se sitúan en cámaras subterráneas localizadas sobre todo en áreas altamente urbanizadas.
- **Filtros orgánicos**, son estructuras similares a los filtros superficiales en los que la arena de la segunda cámara es sustituida por un medio orgánico como el compost.

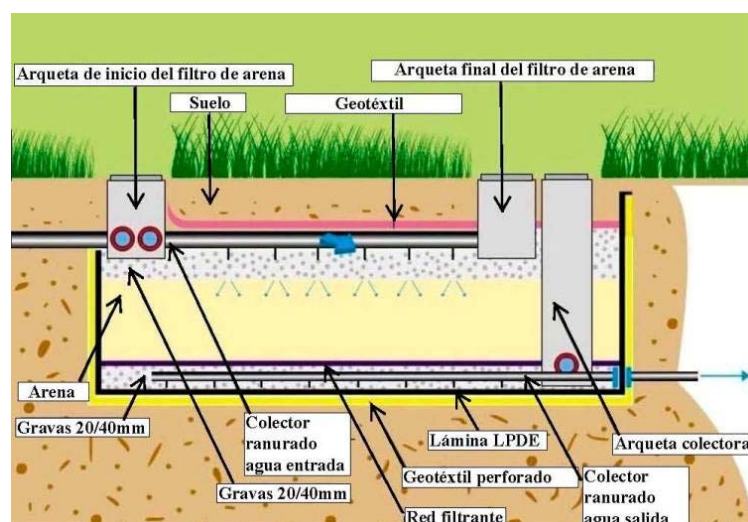


Figura 11. Esquema típico de un filtro de arena (Fuente: sudsostenible.com)

2.5.3. SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y TRANSPORTE

Los sistemas de captación y transporte de aguas pluviales sirven para recoger y conducir lentamente la escorrentía superficial hasta los puntos de tratamiento y vertido.

Estos sistemas están diseñados para permitir los procesos naturales de oxigenación, filtración, almacenamiento, infiltración y evaporación del agua a lo largo del trayecto, con la consiguiente laminación de la cantidad y mejora de calidad del agua.

Estos sistemas pueden ir recubiertos inferiormente por un geosintético que puede ser bien un geotextil permeable, si las condiciones del terreno permiten la infiltración directa, o bien una geomembrana impermeable, si la infiltración del agua al terreno no es recomendable. Los sistemas de captación y transporte pueden ser subterráneos, como los drenes filtrantes, o superficiales, como las cunetas verdes o las franjas filtrantes.

2.5.3.1. Drenes filtrantes o drenes franceses

Los drenes filtrantes son zanjas continuas recubiertas de geosintético y rellenas de relleno drenante que sirven para captar y conducir las aguas pluviales.

Estas zanjas pueden contar además con un tubo dren embebido en el relleno drenante para facilitar la circulación del agua en su interior.

Dependiendo de la ubicación del tubo dren los drenes filtrantes son también conocidos como drenes franceses, habiendo sido empleados durante años en el drenaje de carreteras para la captación y drenaje de aguas subterráneas.



Figura 12. Dren Filtrante (Fuente: savia-medioambiente.blogspot.com.es)

2.5.3.2. Cunetas verdes

Las cunetas verdes se definen como cauces naturalizados que captan y conducen el agua de escorrentía superficial de forma lenta y controlada, fomentando la oxigenación y la retención del agua. Las cunetas verdes pueden sustituir a las cunetas de hormigón o a los cauces naturales degradados por el desarrollo urbano, recuperando el valor ecológico de los mismos mediante un adecuado diseño.

A diferencia de las cunetas de hormigón, las cunetas verdes están cubiertas de vegetación y rocas, son más anchas y permiten la reducción de la velocidad del flujo de agua, constituyendo además un refugio natural para anfibios como sapos y tritones.



Figura 13. Cuneta verde (Fuente: jsancheztapetillo.files.wordpress.com)

2.5.3.3. Franjas filtrantes

Una franja filtrante es una superficie vegetada con cierta inclinación que permite el flujo lento de la lámina de escorrentía superficial, asegurando un efecto filtro gracias a la cobertura vegetal. Así, por ejemplo, el césped puede filtrar la escorrentía superficial y retardar su flujo, ayudando a que se produzcan los procesos de

infiltración, evaporación y evapotranspiración.

Generalmente, una franja filtrante con mayor anchura y densidad de vegetación se obtiene mayor capacidad filtrante y grado de depuración.

Estas franjas filtrantes pueden ser arboladas, arbustivas o herbáceas, teniendo diferentes longitudes para asegurar la correcta atenuación y depuración de la escorrentía superficial.



Figura 14. Franja filtrante (Fuente: sudsostenible.com)

2.5.4. SISTEMAS DE ALMACENAJE Y TRATAMIENTO PASIVO

Los sistemas de tratamiento y almacenamiento permiten gestionar grandes cuencas urbanas, proporcionando una laminación de la cantidad de aguas pluviales a drenar, una depuración de su calidad mediante procesos naturales y un servicio a la comunidad aportando un valor paisajístico y natural al entorno urbano. Además, estos sistemas suponen una medida de seguridad adicional en áreas industriales, carreteras y zonas con riesgo de vertidos contaminantes accidentales, dado que constituyen una barrera de retención previa al vertido al medio natural.

Los sistemas de tratamiento y almacenamiento se pueden clasificar según la presencia continua de la lámina de agua. Si la lámina de agua desaparece al cabo del tiempo se tratan de depósitos de detención. Sin embargo, si la lámina de agua permanece, los sistemas reciben el nombre de estanques de retención o humedales artificiales, en función de su área de ocupación.

2.5.4.1. Depósitos de lluvia

Son depósitos o barriles que se emplean para recoger y almacenar el agua de lluvia que cae sobre el tejado de una casa. El agua que cae sobre la cubierta va a parar a unas canaletas que la conducen hacia un bajante que desemboca en el depósito. Ahí se conserva para ser usada con posterioridad, como sería agua de riego, para cisternas de baño, agua para lavar e incluso agua para consumo directo si dispone de un sistema especial de tratamiento. Con este aprovechamiento se atenúa el gasto de agua de la red de abastecimiento suponiendo una mejora ambiental.

En zonas donde la lluvia es frecuente, los depósitos de lluvia sirven, además, para retener el pico del hidrograma, disminuyendo la presión sobre la red municipal de saneamiento durante los picos de escorrentía y mitigando así el riesgo de inundación. Y en zonas donde el clima es más árido, sirven para almacenar el agua durante la época de lluvias para luego usarla en la época seca.



Figura 15. Depósito de lluvia (Fuente: Enviromental Protection Agency)

2.5.4.2. Depósitos de detención

Los depósitos de detención son depresiones superficiales naturalizadas que permiten albergar un volumen importante de agua, laminando el flujo de escorrentía y reduciendo los riesgos de inundación.

Los depósitos de detención pueden considerarse como tanques o depósitos de tormenta superficiales o como zonas inundables controladas. Estos depósitos deben estar adecuadamente naturalizados y contar con un sistema de desagüe de fondo. Este desagüe permite el vaciado completo del depósito al cabo del tiempo, evitando cualquier lámina de agua constante y permitiendo contar con la totalidad del volumen del depósito para la detención del agua de lluvia del próximo aguacero.



Figura 16. Depósito de detención (Fuente: davey.com)

2.5.4.3. Estanques de detención

Los estanques de detención son embalses superficiales poco profundos con una lámina de agua permanente. Esta lámina de agua oculta los bancos de sedimentos que se acumulan a lo largo del tiempo y pueden resultar antiestéticos. Además, de este modo se asegura un mayor tiempo de retención del agua en el estanque que incrementa el rendimiento de depuración. Con todo, debe existir un mínimo de corriente de agua controlando

el caudal de entrada y de salida para evitar la pérdida de calidad del agua.

Aplicando estos esquemas u otros semejantes se pueden obtener estanques de retención con alto valor paisajístico, el cual sirve para elevar la calidad de la urbanización en la que se sitúa. Como se puede observar, este estanque tiene un sistema de recirculación del agua y toda la cuenca circundante vierte a su interior.



Figura 17. Estanque de detención en Northglenn, Estados Unidos (Fuente: northglenn.org)

2.5.4.4. Humedales artificiales

Los humedales artificiales son superficies cubiertas de agua con poca profundidad, dotadas de abundante vegetación propia de pantanos y zonas húmedas. El tiempo de retención del agua en los humedales es aún mayor que en los estanques de retención, por lo que se obtiene un mayor grado de depuración.

Es fundamental destacar que en ningún caso los humedales naturales deben recibir directamente el flujo de escorrentía superficial urbana, sólo los humedales artificiales están preparados para esta tarea.

El funcionamiento de los humedales queda reflejado en el siguiente esquema presentado en la siguiente figura, quedando patente la necesidad de una estancia mínima para permitir el vertido al cauce natural.



Figura 18. Humedal artificial (Fuente: aguamarket.com)

2.6. ADAPTACIÓN A CLIMAS SEMIÁRIDOS

Según Ana Abellán [1], en climas semiáridos es fundamental que las especies estén bien adaptadas, pues se necesita mantener una cobertura densa y saludable. La vegetación escogida ha de ser muy resistente a la sequía. En zonas del sur de España donde las temperaturas máximas son muy elevadas y en los que se suceden escasas precipitaciones con periodos largos de sequía, para que la implantación de SUDS en los que es necesaria la utilización de especies vegetales, es necesario contar con aquellas autóctonas resistentes al clima.

Un caso especial a tener en cuenta son los humedales dado que, en el diseño es importante asegurar siempre un flujo base, especialmente en periodos de sequía, ya que es imprescindible para mantener con vida la flora y la fauna que habitan en el humedal.

3 METODOLOGÍA

3.1. ELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para la realización de este estudio se ha escogido el Campus de Rabanales en la ciudad de Córdoba ya que es una zona de la que se disponen suficientes datos para su análisis.



Figura 19. Campus de Rabanales (Fuente: Google Maps)

El Campus de Rabanales es el campus universitario de la Universidad de Córdoba. Se localiza en el término municipal de Córdoba, ubicado en la finca "Rabanales", a 3 Km de la ciudad de Córdoba. Se encuentra en una zona bien conectada con el resto de la ciudad y con los principales accesos, tiene acceso por carretera, por ferrocarril, desde la estación de Córdoba (19 trenes en cada sentido con una duración aproximada de 5 minutos) y por autobús de la empresa municipal Aucorsa.

El campus se considera un espacio importante de la ciudad, abierto al tránsito de un gran número de personas, ya sea estudiantes, profesores o trabajadores, y un referente para el resto de la población que puede servir de modelo para la implementación de estas medidas en otros lugares. Además, se trata de una zona que no solo alberga estudiantes y trabajadores durante la jornada lectiva, sino que cuenta con una residencia de estudiantes lo que supone que es domicilio permanente para un cierto número de personas durante, el menos, nueve meses al año.

Durante la época de máximas precipitaciones y debido al estado actual del campus, se puede comprobar que en ciertas zonas como por ejemplo la mayor parte de los aparcamientos existentes, que se encuentran sin asfaltar y con grandes irregularidades en su terreno, son usuales las inundaciones y barrizales.



Figura 20. Aparcamiento con grandes acumulaciones de agua en la superficie después de un episodio de lluvias en el campus (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, debido a todo esto, se ha considerado esta zona como adecuada para beneficiarse de la implantación de los SUDS.

Una vez elegida la localización del estudio, se ha realizado un análisis en profundidad de todos los datos posibles. En primer lugar, se ha realizado un estudio fotográfico para observar todas las zonas con deficiencias y que podrían beneficiarse de la inclusión de los SUDS. Además, se ha analizado la climatología, hidrología y geotécnica de la zona de estudio, puesto que con estos datos se conoce las precipitaciones de la zona, el caudal de diseño o la tipología de SUDS más adecuada, entre otros datos necesarios.

3.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS

Una vez realizada la definición de los diferentes tipos de sistemas urbanos de drenaje sostenible y habiendo analizado la zona de aplicación, en este caso, el Campus de Rabanales, se procede a el estudio de una serie de alternativas posibles, así como a el análisis mediante la evaluación de una serie de criterios (técnicos, económicos, medioambientales y sociales) para finalizar con la elección de la alternativa más favorable.

El primer paso consiste en realizar una búsqueda de un conjunto de alternativas de implantación de SUDS que sean factibles. Esta identificación de opciones se realiza en función de unos criterios que básicamente buscan: la mejora de los diferentes aparcamientos existentes, la zonificación del campus y la homogenización del presupuesto.

En primer lugar, la evaluación de las condiciones actuales del Campus Rabanales refleja la necesidad de realizar medidas para la mejora de sus instalaciones para aparcamiento de estudiantes y trabajadores. Como ya se ha expuesto anteriormente, la mayor parte del aparcamiento existente se encuentra sin asfaltar, sin plazas de aparcamiento distribuidas de manera uniforme y que en época de precipitaciones abundantes se vuelven áreas embarrizadas y con numerosas zonas encharcadas que dificulta no sólo el aparcamiento y tránsito de los vehículos, sino que también suponen una molestia para los viandantes. Por ello, el primer objetivo buscado ha sido la mejora de los aparcamientos existentes mediante la inclusión de firmes permeables en cada una de las alternativas.

Por otro lado, se intenta que la inclusión de los SUDS se realice en diferentes zonas del campus, de manera que no todos estos sistemas se propongan en el mismo lugar. Para ello cada alternativa propone sistemas en diferentes zonas del campus.

El último criterio para la elección ha sido homogenizar lo máximo posible los costes de las alternativas de manera que no haya una gran diferencia económica entre unas y otras que supongan descartar definitivamente la de mayor presupuesto frente a las otras.

Con todo lo anterior, se proponen 4 alternativas diferentes que posteriormente serán analizadas.

3.4. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En este apartado se consideran cuatro tipos de criterios para comparar y examinar cada alternativa propuesta.

Los criterios a valorar son:

1. **Criterios económicos.** Este factor es uno de los que más peso tienen en el análisis (30%). Han de valorarse tanto los costes de construcción como los de mantenimiento de los SUDS. Aunque valorar los costes de construcción de estos sistemas no resulta muy dificultoso, no ocurre lo mismo con los costes de mantenimiento. En la actualidad, en nuestro país no existe un uso extendido de estos sistemas y por lo tanto, esto supone que la información disponible sobre su mantenimiento es extremadamente escasa y la búsqueda de ésta ha sido dificultosa.
2. **Criterios técnicos.** Este criterio supone un peso del 20% del total. Para el diseño de los SUDS es necesario conocer la geotecnia de la zona y comprobar que cumple los requisitos mínimos que

necesita cada sistema. La profundidad de la excavación, la existencia o no de sustratos rocosos, la pendiente del terreno o la altura del nivel freático influyen en gran medida la ejecución de la obra. Además ha de valorarse de manera negativa la existencia de vegetación que pueda perjudicar las labores de construcción de los SUDS.

3. **Criterios medioambientales.** Junto con los criterios económicos, los criterios medioambientales se valoran con un peso del 30% y por lo tanto son de vital importancia a la hora de elegir la alternativa más adecuada. La capacidad depuradora del agua que posee el sistema, la mejora de la biodiversidad de especies vegetales y animales, la reducción de la contaminación o la mejora paisajística al aumentar el número de las zonas verdes, son, entre otros, algunos de ellos.
4. **Criterios sociales.** Son los últimos criterios a valorar con un peso del 20%. Con ellos se valora el efecto que las diferentes alternativas tienen sobre la población. La mejora del paisaje con la inclusión de espacios verdes, la reducción de la contaminación o las molestias que supone la construcción de estos sistemas para los ciudadanos son factores que deben de tenerse en cuenta a la hora de seleccionar una alternativa.

Tras realizar las valoraciones de cada una de las alternativas con la consiguiente obtención de la más favorable, se realiza el diseño de los SUDS que propone y su presupuesto. Para el diseño se han usado las indicaciones que provee el manual de CIRIA y para el presupuesto se ha utilizado el módulo ARQUIMEDES del programa CYPE, con el cual también se valoró económicamente de manera inicial cada una de las alternativas para los criterios económicos.

Finalmente, se presentan una serie de conclusiones y propuestas para futuras líneas de investigación.

4 ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. LOCALIZACIÓN

Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) tiene por objetivo fundamental el estudio de alternativas para la aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el campus de Rabanales de la Universidad de Córdoba. Esto supone la utilización de una serie de técnicas de diseño y constructivas no muy extendidas en España, pero de reconocida eficacia a nivel internacional.

El Campus de Rabanales es el campus universitario de la Universidad de Córdoba. Se encuentra situado en la antigua carretera a Madrid, frente al Polígono Industrial Las Quemadas en el kilómetro 396 de la antigua N-IV. Este campus se asienta en las instalaciones de la extinta Universidad Laboral.



Figura 21. Localización del Campus de Rabanales en Córdoba



Figura 22. Vista aérea del Campus de Rabanales

El Campus alberga en la actualidad a la Escuela Politécnica Superior, la Escuela Técnica Superior de

Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM), la Facultad de Veterinaria y a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Córdoba, así como al Grado de Traducción e Interpretación de la Facultad de Filosofía y Letras.

En el curso 2007 - 2008 se trasladó la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM) ocupando diferentes aulas de los edificios del campus al encontrarse el edificio Leonardo da Vinci aún en construcción.

En el curso 2008 - 2009, la Escuela Politécnica Superior se reunificó definitivamente tras más de una década de separación en 2 sedes (desde 1996 las titulaciones de informática se empezaron a impartir en Rabanales, mientras las diferentes ramas de Industriales se mantenían en el campus de Menéndez Pidal). Coincidiendo con la inauguración del edificio Leonardo da Vinci, las titulaciones de industriales iniciaron la docencia en el Campus de Rabanales.

La zona de estudio se localiza en el término municipal de Córdoba, ubicado en la finca "Rabanales", a 3 Km de la ciudad de Córdoba. Se encuentra en una zona bien conectada con el resto de la ciudad y con los principales accesos, tiene acceso por carretera, por ferrocarril, desde la estación de Córdoba (19 trenes en cada sentido con una duración aproximada de 5 minutos) y por autobús de la empresa municipal Aucorsa.

Según el censo de 2015, Córdoba cuenta con una población de 327.362 habitantes y una densidad de población de 260,80 hab/km² y su área metropolitana cuenta con 361.880 habitantes.

Como veremos en el siguiente gráfico, la tendencia demográfica actual es de crecimiento aunque muy ligero desde 1991 hasta la actualidad.

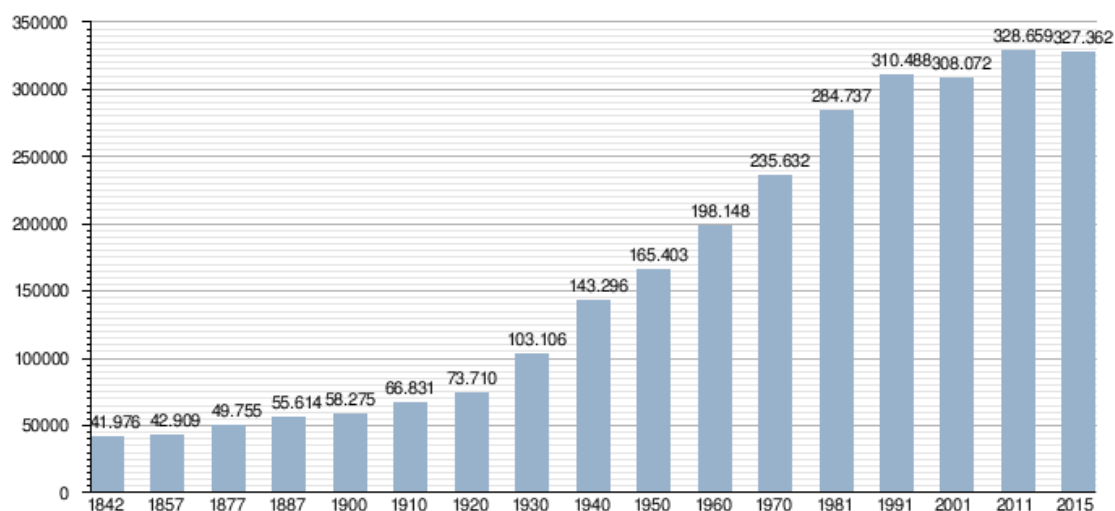


Figura 23. Evolución demográfica de Córdoba 1842-2015 (Fuente: Elaboración propia)

La importancia del estudio de utilización de sistemas de drenaje sostenible incide directamente en el desarrollo demográfico de la zona de estudio.

El campus universitario constituye un espacio importante de la ciudad, entre otros motivos, dada la gran cantidad de personas que reúne, ya sean estudiantes, profesores o personal de los distintos centros de que está compuesto. Por ello, debe ser un referente para el resto de la población, y la implementación de técnicas de drenaje sostenible, además de mejorar el día a día en el campus en lo que se refiere a gestión de la escorrentía superficial y la creación de espacios que resulten más atractivos, puede servir de ejemplo para la futura aplicación en otras zonas de la ciudad.

Tanto el crecimiento de población de la ciudad, incrementando por tanto el número de estudiantes, como el aumento de la oferta de grados por parte de la UCO en el Campus de Rabanales (desde 1996 el número de titulaciones se ha incrementado a 14) han supuesto un aumento del volumen total de personas que pueden

transitar por nuestra área de estudio.

4.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

El terreno tiene una pendiente apenas apreciable (0.5%), por lo que puede ser un lugar indicado para instalar los sistemas de drenaje, debido a que esa inclinación permitirá una fácil infiltración del agua en el terreno

El uso actual de los suelos escogidos para la implantación de los SUDS son para aparcamientos y jardines y se localizan a todo lo largo del campus. Los aparcamientos existentes no se encuentran asfaltados y en general el terreno es irregular, inundándose cuando se producen lluvias y produciéndose gran cantidad de charcos y zonas donde el agua queda estancada.

4.2. CONDICIONANTES EN EL DISEÑO

4.2.1. GEOLOGÍA

4.2.1.1. Introducción

Para conocer las características del suelo del Campus de Rabanales, tomamos como referencia un estudio geotécnico de la zona proporcionado por el Instituto Geológico y Minero [10]. La cartografía geológica puede encontrarse en la hoja Magna50_923.

4.2.1.2. Geología General de la zona

El área estudiada se sitúa dentro de la hoja topográfica escala 1 :50.000 denominada Córdoba. Dentro de la misma, pueden distinguirse dos zonas muy diferentes: al Norte las sierras paleozoicas muy erosionadas, con altitudes que superan los 300 m; y al Sur la penillanura terciaria, parcialmente erosionada, y recubierta en parte por materiales cuaternarios:

El Paleozoico, se caracteriza litológicamente por la existencia de calizas, cuarcitas y pizarras de tonalidades oscuras (e incluso rojizas). Estos materiales se presentan fuertemente plegados y fracturados; siendo muy difícil de identificar en muchos sitios, las verdaderas posiciones relativas de unos estratos con respecto a otros.

EL Terciario, ocupa prácticamente la mitad Sur de -la hoja de Córdoba y se encuentra parcialmente recubierto por materiales cuaternarios. Estos episodios terciarios están datados en general como Miocenos; y se presentan en diversos tramos de litología muy distinta. Los niveles inferiores, son predominantemente detríticos (transgresivos) a continuación aparecen arcillas y margas, terminando el Mioceno con areniscas y margas, de notoria potencia.

Gran parte del Mioceno se encuentra recubierta por materiales cuaternarios detríticos. En estos niveles modernos pueden observarse una serie de terrazas más o menos escalonadas, de potencia irregular depositadas en discordancia, sobre la serie miocena o paleozoica. Ligado al actual cauce del Guadalquivir existen materiales de arrastre tipo aluvial, pero poca extensión superficial dentro del área.

4.2.1.3. Geología de la parcela

En el apartado anterior habíamos descrito los episodios estratigráficos que existían en la zona, es decir, Paleozoico, Terciario y Cuaternario. De estos episodios, solo el Cuaternario está representado en superficie, dentro de la parcela.

El área investigada, se ubica sobre materiales pertenecientes al Cuaternario, antiguo depositado en

discordancia sobre las margas miocenas infrayacentes y adoptando una morfología de terraza.

A continuación describiremos de forma general la columna estratigráfica, puesta de manifiesto en cualquiera de los sondeos dentro del área del campus.

Según el estudio, la capa más superficial del suelo está formada por un relleno antrópico de espesor entre 1 m. Este suelo está compuesto por restos cerámicos, grava y gravilla silícea, materia orgánica y nódulos carbonatados.

Los niveles superiores (más próximos a la superficie) están constituidos por arcillas, arenas y limos con algunas gravas, gravillas y bolos. Este primer nivel tiene una potencia variable (aproximadamente de 3 m). Siguen a continuación unos episodios predominan temerte arenosos, con bolos, gravas y gravillas, en los que son muy frecuentes los cambios laterales de facies.

La potencia de este segundo nivel es variable (oscila entre 2 y 8 m) . Los materiales detríticos se presentan muy redondeados y de origen poligénico; parcialmente cementa dos por las granulometrías inferiores (arenas y finos) . Los materiales se presentan mal graduados, existiendo en determinadas zonas una gran concentración en gravas y bolos con poca fracción fina.

Estos dos primeros niveles descritos pertenecen al Cuaternario antiguo, depositado en régimen fluvial; y adoptando en la actualidad tina morfología de terraza alta o antigua.

Infrayacente al Cuaternario aparecen dentro del área del polígono unos niveles margosos pertenecientes al Mioceno. Geotécnicamente estos materiales margo-arcillosos pueden clasificarse en general (según la clasificación U.S.C.S.) como CH, es decir, arcillas de plasticidad elevada. La potencia de estos niveles miocenos es muy grande (se calcula superior a 100 m).

Dentro del área de la parcela no se han observado claros efectos tectónicos. Parece ser que existe basculamiento general hacia el oeste, pero este fenómeno, no bien comprobado, no tiene ninguna influencia en los futuros procesos constructivos. Igualmente podemos decir de la falla o flexura del Guadalquivir, accidente tectónico regional, sin repercusión en futuras obras, dentro del área del polígono.

4.2.1.4. Hidrología superficial

Dentro del área del campus no existe ningún cauce permanente que drene de forma continua el área investigada. Existe (de NE a SW) una insinuación de red con régimen torrencial como único vestigio de drenaje superficial dirigido.

Gran parte de la pluviometría sigue las líneas de máxima pendiente del terreno. Esta escorrentía se ve favorecida por la parcial impermeabilidad de los niveles superiores del terreno formados predominantemente por arcillas con gravas.

El agua infiltrada pasa a los niveles arenosos infrayacentes y es detenida por las margas miocenas muy impermeables; si bien, por la exigua cuenca de recepción existente, no da lugar a niveles acuíferos importantes dentro del polígono.

Todo el polígono y zonas circundantes pertenecen a la cuenca hidrográfica del río Guadalquivir.

4.2.1.5. Nivel freático

Dentro de la zona estudiada existen tres episodios líficos bien diferenciados: los dos niveles superiores (formados por arcillas y gravas el primero y arenas, bolos y gravas. el segundo), pertenecen al Cuaternario.; el, tercer nivel está constituido por margas azuladas miocenas. Los dos niveles altos presentan (sobre todo el segundo) una permeabilidad acusada, mientras que por el contrario el sustrato mioceno infrayacente se presenta como muy impermeable.

Estratigráficamente, existen las condiciones adecuadas, para que exista un nivel acuífero en el contacto de las arenas cuaternarias (permeables) y el sustrato mioceno impermeable.

Ahora bien, en dicho contacto no existe un verdadero nivel acuífero, al no existir cuenca de recepción suficiente para alimentar el mismo. En épocas de elevada pluviometría el grado de humedad es muy alto, en la base de los episodios arenosos y primeros metros de los niveles margosos; pudiendo llegar a constituir un nivel acuífero de poco caudal y de régimen estacional.

En resumen, desde un punto de vista hidrogeológico, no existe nivel acuífero propiamente dicho, en el contacto de los materiales cuaternarios y miocenos; si bien por existir acumulaciones estacionales acuíferas en dicho contacto, deben tomarse precauciones constructivas que salven este hecho.

4.2.2. CLIMATOLOGÍA

4.2.2.1. CLIMATOLOGÍA DE CÓRDOBA

En el clima de la zona de Córdoba se acusa claramente el influjo atlántico. Las temperaturas medias anuales superan los 15° C, registrándose con frecuencia, en la época estival, las máximas más elevadas de la Península. Toda este área, puede considerarse incluida dentro de la España "semiárida".

Pese a su latitud, el clima de la ciudad de Córdoba, como el de la mayor parte de la provincia, es templado moderado con las cuatro estaciones bien definidas. En términos generales el clima es pampeano, de inviernos no muy fríos y poco lluviosos. Los veranos son húmedos, con días calurosos y noches frescas. Los vientos del este y del oeste son raros, de corta duración y poca intensidad. En primavera soplan con fuerza creciente principalmente del norte y el noreste a medida que un centro de depresión ciclónica se define en el frente polar. En el verano frecuentemente se producen tormentas eléctricas e incluso granizo.

Factores para que la temperatura sea en promedio más fresca que en otros sitios del planeta a latitudes semejantes son: la altitud y, sobre todo, el ubicarse la provincia en la diagonal eólica de los vientos pamperos, vientos fríos que soplan desde el cuadrante sudoeste, originados en la Antártida.

Su temperatura media anual ponderada en todo el siglo XX fue de 18 °C. En enero, mes más cálido del verano austral, la máxima media es de 31 °C y la mínima de 17 °C. En julio, mes más frío, las temperaturas medias son de 19 °C de máxima y 4 °C de mínima. Aún en invierno son frecuentes días algo cálidos, debido a la influencia del viento Zonda. Las nevadas son poco frecuentes, las últimas se registraron en 1984, 2007 y 2009. Por su parte, los tornados si bien son un evento climático poco común en esta zona del planeta, también se han registrado, como el de 2003.

Dada la extensión del conurbado, existe una diferencia de 5 °C ó más entre el área céntrica y la periferia. El área céntrica, densamente edificada y ubicada en una depresión, es el núcleo de una importante isla de calor.

Además presenta fenómenos de smog, sin consecuencias para la salud.

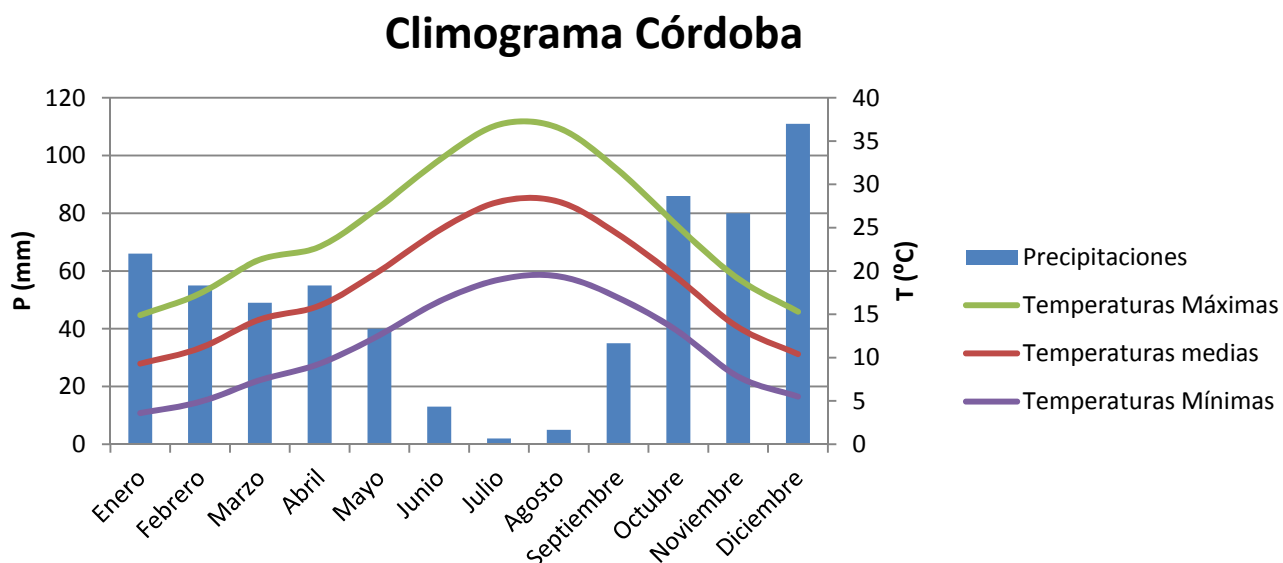


Figura 24. Climograma de Córdoba (Fuente: Elaboración propia)

Como puede observarse en el climograma las precipitaciones no se distribuyen uniformemente a lo largo de todo el año, existiendo temporadas secas, coincidentes con los meses de verano y meses donde los mayores volúmenes de lluvia se registran en la época de otoño e invierno. Las precipitaciones anuales están en torno a los 800 mm.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible fueron concebidos para logran una mejor gestión del agua de precipitación evitando la formación de escorrentía superficial y tratando de desconectar dicho volumen de agua de la red de saneamiento. Por este motivo, para poder llevar a cabo una correcta selección y diseño de los SUDS es necesario conocer la climatología de la zona en que se van a aplicar, especialmente las precipitaciones, tanto los valores medios como los valores extremos.

A fin de conocer con detalle sus características climáticas, se insertan a continuación, una serie de datos, un extracto de la publicación denominada "Guía resumida del clima en España 1981-2010", que puede descargarse desde la página de publicaciones en línea de la web de la Agencia Estatal de Meteorología [2]. Los valores se han obtenido de las series originales no sometidas a tratamientos de homogeneización ni relleno de lagunas, y dan una idea muy exacta sobre el régimen de precipitaciones y temperaturas en la zona:

Periodo: 1981-2010 **Altitud (m):** 90 **Latitud:** 37° 50' 56" N **Longitud:** 4° 50' 48" O

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9.3	14.9	3.6	66	76	7.2	0.2	0.4	2.8	6.6	10.3	174
Febrero	11.1	17.4	4.9	55	71	6.1	0.0	0.6	2.4	3.0	8.8	186
Marzo	14.4	21.3	7.4	49	64	4.9	0.0	1.0	0.5	0.4	8.5	218
Abril	16.0	22.8	9.3	55	60	6.7	0.0	1.9	0.8	0.0	5.8	235
Mayo	20.0	27.4	12.6	40	55	4.9	0.0	1.9	0.6	0.0	7.3	288
Junio	24.7	32.8	16.5	13	48	1.4	0.0	1.1	0.0	0.0	13.7	323
Julio	28.0	36.9	19.0	2	41	0.4	0.0	0.6	0.0	0.0	20.9	363

Agosto	28.0	36.5	19.4	5	43	0.6	0.0	0.5	0.0	0.0	19.0	336
Septiembre	24.2	31.6	19.9	35	52	3.2	0.0	1.7	0.3	0.0	10.9	248
Octubre	19.1	25.1	13.0	86	66	6.9	0.0	1.7	1.2	0.0	7.8	204
Noviembre	13.5	19.1	7.8	80	73	5.9	0.0	0.7	2.6	0.6	8.4	180
Diciembre	10.4	15.3	5.5	111	79	8.1	0.0	0.7	4.5	3.3	8.1	148
Año	18.2	25.1	11.4	605	60	56.6	0.2	12.7	15.7	15.5	130.5	

Tabla 2. Régimen de precipitaciones y temperaturas de Córdoba 1981-2010 (Fuente: AEMET)

Leyenda

T Temperatura media mensual/anual ($^{\circ}\text{C}$)

TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias ($^{\circ}\text{C}$)

Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias ($^{\circ}\text{C}$)

R Precipitación mensual/anual media (mm)

H Humedad relativa media (%)

DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm

DN Número medio mensual/anual de días de nieve

DT Número medio mensual/anual de días de tormenta

DF Número medio mensual/anual de días de niebla

DH Número medio mensual/anual de días de helada

DD Número medio mensual/anual de días despejados

I Número medio mensual/anual de horas de sol

Para nuestro caso, aplicación de SUDS, hay que prestar especial atención a las precipitaciones. Va a ser necesario un dimensionamiento que permita que se evacúen al menos la precipitación del mes más lluvioso del año, en diciembre con 111 mm. Además habrá que considerar que pueden encadenarse varios días de lluvia seguidos, en ocasiones hasta 9, con la consecuente importancia que esto tiene a la hora de dimensionar la cantidad de agua que los distintos elementos van a poder almacenar.

En cuanto a los días de nieve, son despreciables en nuestro ámbito regional, con una medida de 0,016 días de nieve al mes en toda la serie. Por consiguiente, podemos determinar que estas variables no influirán en gran medida en los cálculos de caudales para los SUDS (salvo que las condiciones climatológicas cambien excesivamente).

4.2.2.2. VALORES EXTREMOS

Para el dimensionamiento tienen especial relevancia los eventos extremos dado que tenemos que garantizar la

seguridad y el funcionamiento de los SUDS para un cierto periodo de retorno.

Los valores extremos absolutos son el máximo o el mínimo absolutos de los datos de la serie de la variable climatológica del observatorio respectivo considerados desde el año 1920. Son calculados por mes o por año para un conjunto de observatorios previamente seleccionados.

Variable	Anual
Máx. núm, de días de lluvia en el mes	24 (dic 1996)
Máx. núm, de días de nieve en el mes	2 (ene 2006)
Máx. núm, de días de tormenta en el mes	9 (may 1998)
Prec. Máx. en un día (l/m ²)	154.3 (02 nov 1997)
Prec. Mensual más alta (l/m ²)	355.0 (dic 1996)
Prec. Mensual más baja (l/m ²)	0.0 (sep 1970)
Racha máx. viento: velocidad y dirección	Vel 126. Dir 210 (18 dic 1989 14:10)
Tem. Máx. absoluta (°C)	46.6 (23 jul 1995)
Tem. Media de las máx. más alta (°C)	40.3 (jul 2015)
Tem. Media de las mín. más baja (°C)	-0.9 (feb 2012)
Tem. Media más alta (°C)	30.5 (jul 2015)
Tem. Media más baja (°C)	7.2 (dic 1967)
Tem. Mín. absoluta (°C)	-8.2 (28 ene 2005)

Tabla 3. Valores extremos desde 1920 (Fuente: AEMET)

4.2.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad del suelo por la evaporación directa y la transpiración de las plantas.

Está limitada por el agua disponible, lo cual obliga a diferenciar dos conceptos básicos desde el punto de vista climático: la evapotranspiración real (ETR) y la evapotranspiración potencial (ETP).

La ETR se refiere a la cantidad de agua realmente perdida. La ETP, fue introducida por Thornthwaite, en 1948, como la cantidad máxima de agua que el suelo puede perder bajo un clima y cobertura vegetal determinada, suponiendo una cantidad de agua limitada sobre la superficie.

La evapotranspiración nos permite determinar el tipo de estación en función de las precipitaciones y la cantidad de agua “perdida”, comparando los meses en los que la ETP supera a las mismas.

El cálculo de la ETP se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T}{IA} \right)^{AT}$$

En donde:

T Temperatura media al mes.

IA Índice de calor anual. Es igual a la suma de los 12 valores del índice de calor mensual (I).

$$IA = (0,2 \cdot T)^{1,514}$$

AT Función del índice de calor anual

$$AT = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot IA^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot IA^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot IA + 0,49239$$

Para el cálculo de la ETP de un mes se debe corregir el valor mediante un factor de corrección, L, en función de la latitud, para obtener la ETP final.

$$ETP(\text{corregida}) = ETP \cdot L$$

LAT. N.	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,90	0,90
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,90	0,90
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,90	0,89
30	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
36	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
37	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
38	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,30	1,20	1,04	0,95	0,80	0,76

Tabla 4. Valor L del método Thornthwaite

Por lo tanto obtenemos los siguientes valores:

Mes	T (°C)	I (Thornthwaite)	ETP (mm/mes)	L	ETP corregida (mm/mes)
Enero	9,3	2,56	17,35	0,86	16,49
Febrero	11,1	3,34	24,52	0,84	23,68
Marzo	14,4	4,96	40,82	1,03	39,79
Abril	16	5,82	50,17	1,1	49,07
Mayo	20	8,16	77,64	1,22	76,42
Junio	24,7	11,23	117,36	1,23	116,13
Julio	28	13,58	150,00	1,25	148,75
Agosto	28	13,58	150,00	1,17	148,83

Septiembre	24,2	10,89	112,75	1,03	111,72
Octubre	19,1	7,61	70,95	0,97	69,98
Noviembre	13,5	4,50	35,97	0,85	35,12
Diciembre	10,4	3,03	21,59	0,83	20,76

IA	89,24
AT	1,96
L (°C)	37

4.2.2.4. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA E ÍNDICES CLIMÁTICOS

La clasificación de Papadakis se basa en el establecimiento de un régimen térmico y un régimen hídrico que sirven para determinar las distintas unidades climáticas, incluyendo factores de alta relevancia para los cultivos. A su vez el régimen térmico está definido por el tipo de verano y de invierno y el régimen hídrico está compuesto del régimen de precipitación y de las necesidades hídricas de los suelos.

TIPO DE INVIERNO

El tipo de invierno define la severidad de la estación fría en función de la temperatura media de mínimas absolutas del mes más frío ($t'a1$), la temperatura media de mínimas del mes más frío ($t1$) y la temperatura media de máximas del mes más frío ($T1$). Los valores condiciones y rangos que definen los diferentes tipos de invierno se definen en la tabla adjunta.

Los tipos de invierno están ordenados de más cálidos a más fríos. Si una zona es muy fresca para un tipo (no cumple alguna condición), y muy cálida para el siguiente (supera alguna condición), pertenece a este segundo tipo (lo mismo para el tipo de verano).

Datos:

Temperatura media de mínimas absolutas del mes más frío ($t'a1$)

Temperatura media de mínimas del mes más frío ($t1$)

Temperatura media de máximas del mes más frío ($T1$)

TIPO DE INVIERNO		t'a1 (°C)	t1 (°C)	T1 (°C)
Ecuatorial	Ec	> 7	> 18	
Tropical				
cálido	Tp	> 7	13 a 18	> 21
medio	tP	> 7	8 a 13	> 21
fresco	tp	> 7		< 21
Citrus				
tropical	Ct	-2,5 a 7	>8	> 21
	Ci	-2,5 a 7		10 a 21
Avena				
cálida	Av	-10 a -2,5	>-4	> 10
fresca	av	> -10		5 a 10
Triticum				
avena-trigo	Tv	-29 a -10		> 5
cálido	Ti	> -29		0 a 5
fresco	ti	> -29		< 0
Primavera				
cálida	Pr	< -29		> -17,8
fresca	pr	< -29		< -17,8

Tabla 5. Clasificación tipos de invierno

TIPO DE VERANO

El tipo de verano define el calor estival. Para definirlo se deben considerar los siguientes datos:

La estación libre de heladas en meses, bien la mínima (EmLH), la disponible (EDLH) o la media (EMLH). (régimen de heladas según Papadakis).

La media de las temperaturas medias de máximas de los 2, 4 ó 6 meses más cálidos ($1/n \cdot \sum_{i=1}^n T_i = 13 - nT_i$, $n=2,4$ ó 6)

La media de máximas del mes más cálido (T12)

La media de mínimas del mes más cálido (t12) - la media de la media de mínimas de los dos meses más cálidos ($1/2 \cdot \sum_{i=1}^2 t_i = 11t_i$).

TIPO DE VERANO	ExLH [x] (mes)	$1/n \cdot \sum_{i=1}^{12} T_i$ (°C) [n]	T_{12} (°C)	t_{12} (°C)	$1/2 \cdot \sum_{i=1}^{12} t_i$ (°C)
Gossypium cálido G fresco g	> 4.5 [m] > 4.5 [m]	> 25 [6] > 25 [6]	>33.5 <33.5	>20	
Coffee c	= 12 [m]	> 21 [6]	<33.5	<20	
Oriza O	> 4 [m]	21 a 25 [6]			
Maize M	> 4.5 [D]	> 21 [6]			
Triticum cálido T fresco t	> 4.5 [D] 2.5 a 4.5 [D]	< 21 [6] y > 17 [4] > 17 [4]			
Polar cálido P (taiga) fresco p (tundra)	< 2.5 [D] < 2.5 [D]	> 10 [4] > 6 [2]			>5
Frigid cálido F fresco f		< 6 [2]	> 0 < 0		
Andino-Alpino cálido A fresco a	< 2.5 [D] > 1 [M] < 1 [M]	> 10 [4] < 10 [4]			

Tabla 6. Clasificación tipos de verano

REGIMEN HIDRICO

El régimen hídrico define la disponibilidad natural de agua para las plantas. Se basa en varios índices definidos a partir del balance hídrico del suelo (Thornthwaite, 1948) con capacidad de almacenar 100 mm de agua; y en el que se recogen las precipitaciones medias y se pierde la ETP (calculada según Papadakis:

$$ETP_{PAP} = 5,625 \cdot [e^{\circ}(T_i) - e^{\circ}(t_i - 2)]$$

$e^{\circ}(T_i)$: Tensión de saturación de vapor para la temperatura media de las máximas del mes considerado (mb)

$e^{\circ}(t_i - 2)$: Tensión de saturación de vapor para la temperatura media de mínimas menos 2°C (mb)

Tensión de vapor de saturación e^0 en función de la temperatura media en °C:

$$e^{\circ}(\text{mb ó hPa}) = 33,8639 \cdot [(0,00738 \cdot tm + 0,8072)^8 - 0,000019 \cdot (1,8 \cdot tm + 48) + 0,001316]$$

Los parámetros empleados para definir el régimen hídrico son los siguientes:

El índice de humedad anual es el cociente:

$$I_h = P_{\text{anual}} / ETP_{\text{anual}}$$

Para los índices de humedad mensual se emplean los valores mensuales. Cuando la precipitación es superior a la ETP, se calcula igual que para el anual:

$$I_{h_m} = P_m / ETP_m$$

Las diferencias entre la precipitación mensual y la evapotranspiración en los meses húmedos nos definen el índice de lavado del suelo. Así:

$$\text{Lluvia de lavado: } L_n = \sum_{i=1}^{12} (P_m - ETP_m),$$

La definición de los regímenes hídricos se indican a continuación:

Húmedo: Ningún mes seco. $I_h > 1$. $L_n > 0,20 \cdot ETP$. Húmedo permanente (HU) , todos los meses son húmedos. Húmedo (Hu) , algún mes no es húmedo.
Mediterráneo: Ni húmedo ni desértico. Precipitación invernal mayor que la precipitación estival. Si el verano es G, julio debe ser seco. Latitud $> 20^\circ$, sino es monzónico. Mediterráneo húmedo (ME) , $L_n > 0,20 \cdot ETP$ y/o $I_h > 0,88$. Mediterráneo seco (Me) , $L_n < 0,20 \cdot ETP$; $0,22 < I_h < 0,88$; en uno o más meses con $T > 15^\circ C$ se cumple que el agua disponible cubre la ETP: $P_m + VR_m > ETP_m$. Mediterráneo semiárido (me) , demasiado seco para ser Me.
Monzónico: Ni húmedo ni desértico. $I_{hVII-VIII} > I_{hIV-V}$. Julio o Agosto deben ser húmedos, si dos meses invernales son húmedos. Julio o Agosto deben ser no-secos, si dos meses invernales son no-secos. En caso contrario el régimen es estepario o isohigro semiárido. Monzónico húmedo (MO) , $L_n > 0,20 \cdot ETP$ y/o $I_h > 0,88$. Monzónico seco (Mo) , $L_n < 0,20 \cdot ETP$; $0,44 < I_h < 0,88$. Monzónico semiárido (mo) , $I_h < 0,44$.
Estepario (St): Ni húmedo ni mediterráneo ni monzónico. Primavera no seca ($\sum_{m=III}^V PPT_m > 0,5 \cdot \sum_{m=III}^V ETP_m$). Latitud $> 20^\circ$, sino es monzónico.
Desértico: Todos los meses con $T > 15^\circ C$ son secos; $I_h < 0,22$. Desértico absoluto (da) , $I_{hm} < 0,25$, para todo mes con $T_m > 15^\circ C$; $I_h < 0,09$. Desértico mediterráneo (de) , no suficientemente árido para da; lluvia invernal mayor que la estival. Desértico monzónico (do) , no suficientemente árido para da; julio-agosto menos secos que abril-mayo. Desértico isohigro (di) , ni da, ni de, ni do.
Isohigro semiárido (si): Muy seco para estepario. Muy húmedo para desértico. Ni mediterráneo, ni monzónico.

Tabla 7. Clasificación régimen hídrico

Mes	T (°C)	Ti (°C)	ti (°C)	ti-2 (°C)	e° (Ti)	e° (ti-2)	ETP _{PAP}	P (mm)	I _{h_m}	L _{ni}
Enero	9,3	14,9	3,6	1,6	16,97	6,87	56,81	66,00	1,16	9,19
Febrero	11,1	17,4	4,9	2,9	19,90	7,54	69,52	55,00	0,79	-14,52
Marzo	14,4	21,3	7,4	5,4	25,35	8,99	92,04	49,00	0,53	-43,04
Abril	16	22,8	9,3	7,3	27,77	10,25	98,58	55,00	0,56	-43,58
Mayo	20	27,4	12,6	10,6	36,51	12,81	133,35	40,00	0,30	-93,35
Junio	24,7	32,8	16,5	14,5	49,77	16,54	186,91	13,00	0,07	-173,91
Julio	28	36,9	19	17	62,47	19,40	242,27	2,00	0,01	-240,27
Agosto	28	36,5	19,4	17,4	61,12	19,90	231,87	5,00	0,02	-226,87
Septiembre	24,2	31,6	16,9	14,9	46,50	16,97	166,14	35,00	0,21	-131,14
Octubre	19,1	25,1	13	11	31,88	13,15	105,36	86,00	0,82	-19,36
Noviembre	13,5	19,1	7,8	5,8	22,13	9,24	72,52	80,00	1,10	7,48

Diciembre	10,4	15,3	5,5	3,5	17,41	7,87	53,69	111,00	2,07	57,31
				P anual (mm)		597,00				
				ETP anual (mm)		1509,06				
				Iha		0,40				
				Ln		284,04				

T: Temperatura media mensual

Ti: Temperatura media máxima

ti: Temperatura media mínima

P: Precipitación media

Una vez obtenidos los resultados y fijándonos en la tabla de régimen hídrico, observamos que nuestra zona tendría un régimen hídrico **Mediterráneo Seco**, donde $Ln < 0,2$ ETP ($284,04 < 301,81$) y $0,22 < Iha(0,4) < 0,88$.

En cuanto a la clasificación térmica, en invierno esta corresponde a la de tipo **Citrus**.

Citrus	Ci	t'a1	t1	T1
		-2.5 a 7	-	10 a 21

La clasificación térmica para nuestra zona de estudio en verano es del tipo **Gossypium Cálido**.

Gossypium	Cálido	ExLH (x)	tx	Tm	tm
		>4,5 (m)	>25	>33,5	>20

Régimen térmico		Tipo de invierno	Tipo de verano
Ecuatorial	Cálido	Ec	G
	Semi cálido	Ec	g
Tropical	Cálido	Tp	G
	Semi cálido	Tp	g
	Cálido con invierno frío	tP	G, g
	Frío	tp	O, g
Tierra Templada	Templada	Tp, Tp, tp	c
	Templada fresca	tp	T
Tierra Fría	Baja	Ct o más frío	g
	Media	Ct o más frío	O, M
	Alta	Ct o más frío	T, t
Andino	Bajo	Ti o más cálido	A

	Alto	Ti o más cálido	a
	Taiga	Ti o más cálido	P
	Tundra	Ti o más cálido	p
	Desierto subglaciar	Ti o más cálido	F
Subtropical	Semitropical	Ct	G, g
	Cálido	Ci, Av	G
	Semicálido	Ci	g
Marino	Super-Marino	Ci	T
	Cálido	Ci	O, M
	Fresco	av, Av	T
	Frío	av, Ti, Tv	P
	Tundra	Ti, av	p
	Desértico subglaciar	Ti	F
Templado	Cálido	av, Av	M, O
	Fresco	ti, Ti, Tv	T
	Frío	ti, Ti	t
Pampeano-Patagoniano	Pampeano	Av	M, O
	Patagoniano	Tv, av, Av	t
	Patagoniano frío	Ti, Tv, av	P
Continental	Cálido	Av o más frío	g, G
	Semicálido	Ti o más frío	M, O
	Frío	pr, Pr	t
Polar	Taiga	ti o más frío	P
	Tundra	ti o más frío	p,a
	Desierto subglaciar	ti o más frío	F
	Hielo permanente	ti o más frío	f
Alpino	Bajo	Pr, ti, Ti, pr, Tv	A
	Alto	Pr, ti, Ti, Tv	a

Tabla 8. Clasificación regímenes térmicos

Con estos datos y observando el cuadro anterior, podemos concluir que el régimen térmico es **Sutropical Cálido**.

4.2.3. HIDROLOGÍA

4.2.3.1. INTRODUCCIÓN

Se define como pluviometría al estudio y tratamiento de los datos de precipitación obtenidos en los pluviómetros ubicados en una determinada zona, obteniendo datos de gran relevancia para las zonas agrícolas y regulación de las cuencas fluviales, a fin de evitar inundaciones por exceso de lluvia.

En nuestro estudio, tendrán gran importancia a la hora de determinar la máxima concentración de precipitación en la zona, la distribución espacial de las mismas y las intensidades de lluvia. Esto es, el estudio de la probabilidad de aparición o su periodo de retorno.

La forma óptima de abordar la caracterización pluviométrica de la zona es analizar los datos a nivel regional utilizando la información proporcionada por la AEMET de la Estación del Aeropuerto de Córdoba [2].

4.2.3.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para la correcta determinación de la precipitación máxima diaria, se ha utilizado información de la Dirección General de Carreteras, la cual ha desarrollado un análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en la península publicado en el documento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” [3] publicado por el Ministerio de Fomento.

De esta forma se permite expresar las variaciones extremas en función del valor del coeficiente de variación (C_v), representado en forma de isolíneas para todo el territorio peninsular. Este mapa, se acompaña también con las isolíneas de las medias de las lluvias máximas en 24h.

C_v	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Tabla 9. Cuantiles Y_t de la Ley SQRT-ET máx., también denominados Factores de Amplificación K_t (Fuente: Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular)

- 3) Para el periodo de retorno deseado T y el valor de C , obtener el factor de amplificación K_T mediante el uso de la tabla K_T
- 4) realizar el producto del factor de amplificación K_T por el valor medio de la máxima

Precipitación diaria máxima en Málaga para un periodo de retorno, T , de X años:

- En el mapa se obtiene $P' = 50\text{mm/día}$ y $C_v = 0,35$
- Para $C_v = 0,35$ y $T = X$ en la tabla se obtiene K_T
- Multiplicando se obtiene: $P_d = K_T \cdot P'$

Para el cálculo de una red de drenaje convencional de implantación local se suele tomar una lluvia de diseño definida para un periodo de retorno (T) de 10 años.

Para un drenaje sostenible en cambio, sería contraproducente el uso de periodos de retorno elevados, ya que lo que se pretende es gestionar volumen de agua y no asegurar un buen drenaje superficial en situaciones extraordinarias. Tomar periodos de retorno elevados supondría sobredimensionar los SUDS para no incrementar apenas el volumen gestionado de agua en periodos de tiempo elevados. Por lo tanto vamos a tomar un periodo de retorno para el cálculo de 2 años.

Para el periodo de retorno se obtiene:

$$K_T = 0,921$$

$$P_d = K_T \cdot P' = 0,921 \cdot 50 = 46,05 \text{ mm}$$

$$I_d = P_d / 24 = 46,05/24 = 1,92 \text{ mm/h}$$

4.2.3.3. CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE LA LLUVIA

Conocido el valor de la precipitación esperable para el periodo de retorno, se pasa a continuación a la obtención de la curva Intensidad – Duración para el periodo de retorno prefijado. La expresión utilizable en España es:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

donde:

- I_t : precipitación recogida en un periodo t
- I_1 e I_d son las precipitaciones medias en 1 hora y en 24 horas, respectivamente.

La relación (I_1/I_d) para cualquier punto del país es recogida en el siguiente mapa, proporcionado por la Dirección General de Carreteras.



Figura 26. Mapa de isótopos I_1/I_0 (Fuente: Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular)

Para la zona de ubicación del trazado se estima un valor $(I_1/I_0)=8.75$

4.2.3.3.1. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración en un punto de una cuenca es el tiempo empleado por la lluvia caída en el lugar de la cuenca más alejado de dicho punto para llegar hasta él. Debe puntualizarse que «el lugar más alejado» se refiere a un punto de vista temporal: el lugar desde el que más tarde el agua caída en llegar al punto de concentración considerado.

La fórmula que recomienda la Norma de Drenaje Superficial (Instrucción 5.2 – IC) [13] para obtener el tiempo de concentración es una modificación de la del US Army Corps of Engineers:

$$T_c = 0.3 \cdot \left[\left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.76} \right]$$

Donde:

- T_c = tiempo de concentración (h).
- L = longitud del cauce más largo (km).
- J = pendiente del cauce (m/m).

Esta formulación es válida para entornos rurales, que es el medio existente en la cuenca externa de aportación de aguas pluviales (escorrentía) al ámbito del campus.

De la medición realizada sobre la cuenca de aportación se obtienen los datos siguientes: ‰

- Superficie total de la cuenca de aportación: $A = 2,24025 \text{ Km}^2$
- Longitud del cauce principal: $L = 1,476 \text{ Km}$

- Diferencia de cota entre el punto de mayor altitud del recorrido del cauce principal, y el punto de vertido: 41,38 m
- Pendiente del cauce principal: $J = 41,38 \text{ m} / 1.476 \text{ m} = 0,028035 = 2,8035 \%$.

Por lo tanto se un tiempo de concentración de $T_c = 0,79536$ horas, aproximadamente **48 minutos**.

Por lo tanto aplicando la ecuación:

$$I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

se obtiene: $I_t = 19,02 \text{ mm/h}$

Existe un coeficiente de reducción área K_a que reduce la intensidad obtenida en función del área de la cuenca:

- Para valores de $A < 1 \text{ Km}^2$ $\rightarrow K_a = 1$
- Para valores de $A > 1 \text{ Km}^2$ $\rightarrow K_a = 1 - \frac{\log A}{15}$

En este caso la superficie es $A = 2,24025 \text{ Km}^2$ por lo que $K_a = 0,9766$, obteniéndose:

$$I_t = 19,02 \cdot 0,9766 = 18,58 \text{ mm/h}$$

4.2.3.3.2. Método Racional Modificado

Hay que estimar los caudales máximos procedentes de la cuenca que vierte sus aguas a la zona de estudio. Se va a utilizar para el cálculo el Método Racional Modificado, cuyas principales hipótesis son:

- La precipitación es uniforme, en el espacio y en el tiempo.
- La intensidad de lluvia es la correspondiente a un aguacero de duración el tiempo de concentración de la cuenca, ya que se considera que esta duración es la más desfavorable.
- Existe un coeficiente de escorrentía constante para cada tipo de uso del suelo. Siguiendo la metodología indicada, el máximo caudal de aguas de lluvia a evacuar en una zona, para una determinada frecuencia de precipitación, valdrá:

$$Q = \frac{C * I * A * K}{3,6}$$

Donde:

- C = coeficiente de escorrentía o relación entre el agua no retenida por el terreno y el agua de lluvia.
- I = intensidad media (mm/h)
- A = superficie de la cuenca (Km^2)
- K = coeficiente punta para tener en cuenta la no uniformidad de la lluvia

4.2.3.3.2.1. Coeficiente de escorrentía

La forma de obtener el coeficiente de escorrentía, es aplicando la Norma 5.2 [13].

El coeficiente de escorrentía C , define la parte de la precipitación de intensidad I (T , t_c) que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca.

El coeficiente de escorrentía C , se obtendrá mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Si } P_d \cdot K_A > P_0 \quad C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1 \right) \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23 \right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11 \right)^2}$$

$$\text{Si } P_d \cdot K_A \leq P_0 \quad C = 0$$

donde:

- C = Coeficiente de escorrentía
- P_d = Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado (mm) $\rightarrow P_d = 46,05$ mm
- K_A = Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca $\rightarrow K_A = 0,9766$
- P_0 = Umbral de escorrentía (mm)

$$P_d \cdot K_A = 46,05 \cdot 0,9766 = 44,972 \text{ mm}$$

4.2.3.3.2.1.1. Umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía P_0 , representa la precipitación mínima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía.

Valor inicial del umbral de escorrentía

El valor inicial del umbral de escorrentía P_0^i , se determinará a partir de tablas publicadas en [13], en los que se obtiene directamente el valor de P_0^i para una determinada localización geográfica.

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D.

Tabla 10. Grupos hidrológicos de suelo a efectos de la determinación del valor inicial del umbral de escorrentía (Fuente: Norma 5.2.-Instrucción de Drenaje Superficial)

Código	Uso de suelo	Práctica de cultivo	Pendiente (%)	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
11100	Tejido urbano continuo			1	1	1	1
11200	Tejido urbano discontinuo			24	14	8	6
11200	Urbanizaciones			24	14	8	6
11210	Estructura urbana abierta			24	14	8	6
11220	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas			24	14	8	6
12100	Zonas industriales y comerciales			6	4	3	3
12100	Granjas agrícolas			24	14	8	6
12110	Zonas industriales			12	7	5	4
12120	Grandes superficies de equipamiento y servicios			6	4	3	3
12200	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados			1	1	1	1
12210	Autopistas, autovías y terrenos asociados			1	1	1	1
12220	Complejos ferroviarios			12	7	5	4
12300	Zonas portuarias			1	1	1	1
12400	Aeropuertos			24	14	8	6
13100	Zonas de extracción minera			16	9	6	5
13200	Escombreras y vertederos			20	11	8	6
13300	Zonas de construcción			24	14	8	6
14100	Zonas verdes urbanas			53	23	14	10
14200	Instalaciones deportivas y recreativas			79	32	18	13
14210	Campos de golf			79	32	18	13
14220	Resto de instalaciones deportivas y recreativas			53	23	14	10
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	R	≥ 3	29	17	10	8
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	N	≥ 3	32	19	12	10
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	R/N	< 3	34	21	14	12
21100	Tierras de labor en secano (viveros)			0	0	0	0
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas)	R	≥ 3	23	13	8	6
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas)	N	≥ 3	25	16	11	8
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas)	R/N	< 3	29	19	14	11
21100	Tierras abandonadas		≥ 3	16	10	7	5
21100	Tierras abandonadas		< 3	20	14	11	8
21200	Terrenos regados permanentemente	R	≥ 3	37	20	12	9
21200	Terrenos regados permanentemente	N	≥ 3	42	23	14	11
21200	Terrenos regados permanentemente	R/N	< 3	47	25	16	13
21210	Cultivos herbáceos en regadío	R	≥ 3	37	20	12	9
21210	Cultivos herbáceos en regadío	N	≥ 3	42	23	14	11
21210	Cultivos herbáceos en regadío	R/N	< 3	47	25	16	13
21220	Otras zonas de irrigación			0	0	0	0
21300	Arrozales			47	25	16	13
22100	Viñedos		≥ 3	62	28	15	10
22100	Viñedos		< 3	75	34	19	14
22110	Viñedos en secano		≥ 3	62	28	15	10

Tabla 11. Valor inicial del umbral de escorrentía

Según nos proporciona el estudio geológico los niveles superiores (más próximos a la superficie) están constituidos por arcillas, arenas y limos con algunas gravas, gravillas y bolos y tiene una potencia variable de aproximadamente de 3 m. De la tabla 2 podemos decir entonces que el grupo hidrológico del suelo es de Grupo B con una infiltración moderada.

La zona de estudio tiene un suelo tipo tejido urbano discontinuo, el cual son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructuras construidas cubren artificialmente la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación.

Observando en la tabla 3 con los datos anteriores obtenemos un umbral de escorrentía $P_0^i=14$ mm. La Norma 5.2 I.C. utiliza un coeficiente corrector para el cálculo de umbral de escorrentía en obras de carretera. A efectos de este trabajo, como no se trata de una obra de carreteras y en la normativa no hay información, tomamos el coeficiente corrector con valor 1 y por lo tanto $P_0^i=P_0=14$ mm.

Como $P_d \cdot K_a = 44,972 > 14$ mm \rightarrow Hemos de usar la fórmula para calcular el coeficiente de escorrentía siguiente:

$$C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_0} - 1 \right) \left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_0} + 23 \right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_0} + 11 \right)^2}$$

y por lo tanto $C= 0,2871$

4.2.3.3.2.2. Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación

El coeficiente K_t tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación. Se obtendrá a través de la siguiente expresión:

$$K_t = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

donde:

- K_t Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.
- T_c Tiempo de concentración de la cuenca (horas)

Por lo tanto, $K_t = 1,051$

Una vez tenemos todos los datos podemos calcular el caudal máximo para el periodo de retorno elegido ($T=2$ años):

$$Q = \frac{C * I * A * K}{3,6}$$

$$Q = 3,571 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SUDS

4.3.1. INTRODUCCIÓN

Planificar y seleccionar que SUDS son o no necesarios en una determinada zona no es una tarea fácil, pues deben tenerse en cuenta tanto los criterios de calidad y cantidad del agua proporcionada por el sistema, como la integración en el entorno y el servicio que van a proporcionar. Es debido a esto que deben tenerse en cuenta en el proceso de diseño de estos sistemas factores como la integración paisajística, el entorno arquitectónico, los usos urbanos o la potencialidad de generación de hábitats adecuados para la flora y la fauna local deben.

En primer lugar, es necesario contar con una serie de datos preliminares que permitan realizar la planificación de la infraestructura. Uno de los principales criterios de diseño reside en mantener el patrón de los hidrogramas existentes antes del desarrollo de la zona, por ello es recomendable partir del estudio del sistema de drenaje original.

Otros datos básicos son los relacionados con el régimen de precipitaciones de la zona. Debe disponerse de series de precipitación para poder realizar análisis de frecuencias e intensidades con objeto de elaborar las lluvias de diseño. También es importante conocer los puntos donde se prevén los reboses y vertidos de la red de saneamiento, ya que éstos pueden condicionar la ubicación de las infraestructuras de tratamiento.

Para la elección de los SUDS a emplear se han tomado en cuenta las recomendaciones de la publicación del CEDEX [4] *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*. y la información de Abellán García [1] en su web.

4.3.2. CONTROL REGIONAL Y LOCAL

En determinadas ocasiones puede ser necesario realizar un control regional de la escorrentía y para ello se utilizarán las técnicas que proporcionen un tratamiento de agua mayor, como por ejemplo pueden ser los humedales o los tanques de detención. Por otro lado, cuando la escorrentía se encuentra limitada en zonas de tamaño reducido, pueden utilizarse otras técnicas como pozos de infiltración o pavimentos permeables.

Las técnicas más utilizadas y extendidas por la simplicidad en su aplicación son las de control local o de control in situ, mientras que las estrategias de control regional son más complicadas de utilizar puesto que se aplican a cuencas de entre 25 y 250 hectáreas y por tanto resultarán más costosas y con una necesidad de planificación más avanzada. A pesar de ello, las técnicas de control regional tienen una serie de ventajas con respecto a las locales como son: compatibilidad con zonas de recreo, económicamente son más rentables y que se pueden emplear sistemas de desagüe con varias zonas para regular y tratar los sucesos menos energéticos pero más frecuentes.

4.3.3. LOS IMPACTOS SOBRE EL ENTORNO

Los principales impactos que producen las aguas de escorrentía en el entorno se pueden clasificar en físicos, químicos e impactos sobre el hábitat (ecológico).

SUDS	CATEGORÍA DEL IMPACTO		
	QUÍMICO	FÍSICO	ECOLÓGICO
Estanques de retención	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, metales y bacterias	Poco efectivo para controlar impactos sobre cauces por aumento de la escorrentía e incluso pueden aumentar los caudales punta. No tienen capacidad para recargar acuíferos.	Disminución de la concentración de bacterias. No proporciona protección a macrovertebrados y puede provocar daños a peces de aguas frías por impactos térmicos.
Humedales	Reducen las concentraciones de sólidos en suspensión, fósforo y nitrógeno (incluidos los nitratos).	Poco efectivos para controlar impactos sobre cauces. Sin capacidad para recargar acuíferos.	Puede provocar daños a peces de aguas frías por variaciones térmicas.
Estanques de infiltración	No hay información	Control de caudales. Reducen el volumen de escorrentía. Son efectivos en las recargas de acuíferos.	No hay información
Zanjas de infiltración	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, metales y bacterias	Efectivo para recarga de acuíferos	Disminución de la concentración de bacterias
Pavimentos porosos y modulares	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, fósforo, nitrógeno (incluidos nitratos) y metales	Efectivos para recarga de acuíferos (70-80% de escorrentía natural)	No hay información

Zonas de biorretención	Eliminan el fósforo, nitrógeno, amonio, metales, DQO y bacterias	Pueden proporcionar control de la calidad, la erosión de cauces y contra inundaciones	Eliminación de concentraciones de bacterias
Canales de césped	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, fósforo, nitrógeno, nitrato y metales	Reducen el caudal punta en pequeños sucesos y es efectivo para recarga de acuíferos	Disminución de la cantidad de bacterias
Zanjas vegetales filtrantes	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, nitratos, nitritos, fósforo y metales	Reducen el caudal punta en pequeños sucesos. Efectivo para recarga de acuíferos y aunque no tienen capacidad de laminar sucesos grandes sí pueden usarse como sistemas de detención fuera de línea	No hay información
Filtros de arena	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, nitrógeno, nitrato, metales y bacterias	Sirven, en muy limitados casos, para la recarga de acuíferos. No protegen contra la erosión en cauces y llanuras	No hay mucha información al respecto pero se sabe que no contribuyen en la prevención de la degradación biológica de cauces y llanuras
Filtros compuestos	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, nitrógeno y nitrato		
Filtros perimetrales	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, nitrógeno, nitrato y metales		
Filtros superficiales y verticales	Reducen la concentración de sólidos en suspensión, fósforo, nitrógeno, nitrato, metales y bacterias (filtros superficiales)		

Tabla 12. Impactos sobre el entorno producido por los SUDS (Fuente: Gestión de las aguas pluviales. CEDEX 2008)

4.3.4. FACTORES FÍSICOS

En las tablas que se incluyen a continuación se resumen los parámetros físicos que deben considerarse y una serie de indicaciones para evaluar su adecuación a varios usos del terreno.

SUDS		SUELO	NIVEL FREÁTICO	ÁREA DE DRENAJE	PENDIENTE	CARGA HIDRÁULICA
Estanques	Secos	Los suelos granulares demandan impermeabilización de fondo y laterales	1,2 m	-	15 % máx.	1,8 - 2,5 m
	Húmedos			10 ha min		
Humedales		Los suelos granulares demandan impermeabilización de fondo y laterales	1,2 m	10 ha min	8 % máx.	1 - 1,5 m
Infiltración	Zanja	Permeabilidad mínima 12 mm/h	1,2 m	2 ha min	15 % máx.	0,3 m
	Estanque			5 ha min		0,6 m
Biofiltros vegetales	Biorretención	Usan suelos mezclados in situ	-	1 ha min	6 % máx.	-
	Canales de césped		0,6 m	2 ha min	4 % máx.	-
	Zanja filtrante		-	-	6% máx.	-
Filtros	Arena	Sin problemas	0,6 m	5 ha min	-	1,5 m
	Perimetrales			1 ha min		0,7-0,9 m
	Subterráneos			1 ha min		1,5 -2,2 m

Tabla 13. Adecuación de los SUDS ante los condicionantes físicos del entorno (Fuente: Gestión de las aguas pluviales, CEDEX 2008)

SUDS		Adecuación a los distintos usos del suelo				
		Rural	Residencial abierto	Carreteras y autovías	Comercial/urbano denso	Urbano muy denso
Estanques	Secos	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	MEDIA
	Húmedos	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
Humedales		ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	BAJA
Infiltración	Zanja	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA	MEDIA
	Pozo de infiltración	MEDIA	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA

		A				
	Estanque	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
	Pavimentos porosos y modulares	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
Biofiltros vegetales	Biorretención	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA
	Canales de césped	ALTA	MEDIA	ALTA	MEDIA	MEDIA
	Zanja filtrante	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BAJA	BAJA
Filtros	Arena	BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA
	Perimetrales	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA
	Subterráneos	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA
	Orgánicos	BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA

Tabla 14. Adecuación de los SUDS para su uso en suelos urbanos muy densos (Fuente: Gestión de las aguas pluviales, CEDEX 2008)

4.3.5. FACTORES DEL MEDIO RECEPTOR

La zona de descarga del agua de escorrentía es un aspecto a tener en cuenta debido a que siempre es necesario que exista una calidad mínima del agua.

Es posible distinguir cinco usos: las masas de agua fría (medios receptores con potencialidad para que vivan salmónidos y otros organismos sensibles a la temperatura del agua), los cauces sensibles (aquellos con alta biodiversidad o calidad del agua, o entorno muy poco urbanizado), acuíferos, embalses y lagos, y playas y zonas de cultivo de moluscos. Se buscarán técnicas que tengan elevados rendimientos de eliminación de nutrientes en lagos y embalses, y de eliminación de microorganismos patógenos para playas y cultivo de mariscos.

SUDS	MASAS DE AGUA FRÍA	CAUCES SOSTENIBLES	PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS	PROTECCIÓN DE EMBALSES Y LAGOS	PLAYAS Y ZONAS DE CULTIVO MARINAS
Estanques y humedales	Uso restringido por los impactos térmicos, aunque se pueden emplear fuera de línea para minimizar el impacto	Diseñar con volúmenes y tiempos de vaciado para proporcionar protección frente a la erosión de los mismos	Empleo de geotextiles y de láminas impermeables. Pretratamiento del 100% del agua de escorrentía contaminada	Controlar la erosión de cauces y llanura. Proporcionar tiempos de retención elevados para favorecer la eliminación de nutrientes y bacterias	Emplear sistemas de retención con volumen permanente para incrementar la eliminación de bacterias y nutrientes
Sistemas de	Válida	Válida	Necesarios perímetros de	Necesarias distancias de	Necesarias distancias de seguridad con el nivel

infiltración			protección para pozos y zonas sensibles	seguridad para nivel freático y cimentaciones en roca	freático
Biofiltros vegetales	Válida	Adecuados	Válida	Válida	Válida
Filtros de arena	Válida para volúmenes pequeños	Válida	No válida en recarga de acuíferos	Válida para tratar el volumen de la calidad del agua	Válida

Tabla 15. Adecuación de los SUDS a los condicionantes del medio receptor (Fuente: Gestión de las aguas pluviales, CEDEX 2008)

4.3.6. FACTORES AMBIENTALES Y SOCIALES

Dentro de este grupo encontramos aspectos como los costes de construcción y de mantenimiento, la aceptación del sistema empleado por parte de la comunidad y la capacidad que posee el sistema para proporcionar calidad al hábitat receptor de las cargas de agua y contaminación.

SUDS		COSTE DE CONSTRUCCIÓN	MANTENIMIENTO	ACEPTACIÓN DE LA COMUNIDAD	CALIDAD DEL HABITAT	OTROS FACTORES
Estanques	Secos	Bajo/Medio	Sencillo	Media	Baja/Media	Pueden aparecer problemas con basuras y sedimentos
	Húmedos	Alto	Medio	Alta	Alta	
Humedales		Medio/Alto	Medio/Alto	Media	Alta	Profundidad limitada
Infiltración	Zanja	Alto	Alto	Alta	Baja	Limpiezas frecuentes
	Estanque	Medio	Medio	Baja	Baja	
Biofiltros vegetales		Medio	Bajo/Medio	Alta	Media	Adecuado para LID
Filtros vegetales		Alto	Alto	Media/Alta	Baja	-

Tabla 16. Adecuación de SUDS en función de factores ambientales y sociales (Fuente: Gestión de las aguas pluviales, CEDEX 2008)

4.3.7. CAPACIDAD PARA GESTIONAR LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA URBANA

La capacidad de cada sistema para cumplir con los objetivos de control de la calidad del agua es un factor muy importante en el proceso de selección de los SUDS.

Las técnicas más adecuadas son las que logran tratar el volumen de calidad de agua por ellas mismas, sin necesidad de otros sistemas que ayuden a alcanzar los niveles de eliminación indicados por las normativas.

Se considera que una técnica es válida cuando:

- Puede captar y tratar todo el volumen de calidad del agua.
- El rendimiento medio anual de eliminación de sólidos suspendidos totales ha de estar en torno al 80% y el de eliminación de fósforo total alrededor del 40%
- Los sistemas tienen una vida útil elevada.
- Los sistemas disponen de un pretratamiento.

No solo han de ser capaces de controlar la calidad del agua, también han de ser capaces de controlar los caudales punta de los aguaceros y/o proporcionar un volumen de recarga para los acuíferos.

SUDS		PRECIPITACIÓN				Protección de cauces	Control de caudales punta	Recarga de acuíferos	Acepta aguas Hotspots
		Volumen de calidad	Nitrógeno	Metales	Bacterias				
Estanques	Detención	NO	-	-	-	SI	SI	NO	NO
	Retención	SI	B	B	B	SI	SI	NO	SI*
Humedales		SI	B	R	B	SI	SI	A veces	SI*
Infiltración	Zanja de infiltración	SI	B	B	B	NO	NO	SI	NO
	Pozo de infiltración	SI	B	B	B	NO	NO	-	NO
	Estanque de infiltración	SI	B	B	B	NO	NO	SI	NO
	Pavimentos porosos	NO	B	R	Sin datos	-	A veces	SI	SI
	Pavimentos modulares	NO	B	B	Sin datos	-	A veces	SI	SI
Biofiltros vegetales	Cuneta seca	SI	B	B	R	NO	NO	SI	SI**
	Cuneta húmeda	SI	R	B	M	NO	NO	NO	NO
	Zona biorretención	SI	B	B	R	A veces	NO	SI	SI**
	Zanjas vegetales filtrantes	NO	R	R	Sin datos	NO	NO	NO	SI**
Filtros	Superficiales	SI	B	R	R	A veces	NO	A veces	SI**
	Perimetrales	SI	B	R	R	A	NO	NO	SI**

						veces			
	Subterráneos	SI	B	R	R		NO	NO	SI**
	Orgánicos	SI	B	Sin datos	R	A veces	A veces	A veces	SI**

Tabla 17. Capacidad de los sistemas de tratamiento para gestionar y tratar las aguas pluviales (Fuente: Gestión de las aguas pluviales, CEDEX 2008)

*: Requiere de un Pretratamiento previo que elimine hidrocarburos y metales pesados.

** : Requiere de una impermeabilización del sistema que impida infiltraciones.

B: Implica la eliminación de más de 30% del Nitrógeno, más del 60% de los metales y el 70% de las bacterias.

R: Implica una eliminación del nitrógeno entre el 15-30%, de los metales entre 30-60% y de las bacterias entre el 35-75%.

M: Implica una mala eliminación de contaminantes, siendo inferior al 15% en el caso de nitrógeno, al 30% en el caso de metales y al 35% en el caso de las bacterias.

4.4. DIAGNÓSTICO DEL CAMPUS

Para establecer la situación actual del Campus de Rabanales se van a exponer una serie de fotografías realizadas por la autora de este TFM.

Las fotografías muestran los lugares en los que es posible plantear diferentes propuestas de sistemas de drenaje sostenible, y se acompañan de una breve descripción de su ubicación y la alternativa propuesta para ese lugar teniendo en cuenta su adecuación con los criterios anteriormente propuestos.

- Aparcamiento frente a los edificios Gregor Mendel, Severo Ochoa y José Celestino Mutis. Es uno de los diversos aparcamientos donde se plantea cambiar el firme actual por uno formado por pavimento permeable.



Figura 27. Aparcamiento frente a los edificios Gregor Mendel, Severo Ochoa y José Celestino Mutis (Fuente: Elaboración propia)



Figura 28. Situación del aparcamiento en el campus (Fuente: Google Maps)

- Aparcamiento general frente a los edificios Gregor Mendel, Severo Ochoa y José Celestino Mutis. Este aparcamiento abarca una gran superficie de terreno y se encuentra sin asfaltar, contando con numerosos árboles distribuidos de manera poco regular y alatoria. Se propone la aplicación de un firme permeable.



Figura 29. Aparcamiento general frente a los edificios Gregor Mendel, Severo Ochoa y José Celestino Mutis (Fuente: Elaboración propia)



Figura 30. Situación del aparcamiento en el campus (Fuente: Google Maps)

- Zona ajardinada en frente del Aulario Averroes. Estos jardines son unos de los lugares propuestos para colocar una franja drenante o un área de biorretención.



Figura 31. Fotografía de los jardines frente al aulario Averroes (Fuente: Elaboración propia)



Figura 32. Fotografía de los jardines frente al aula Averroes (Fuente: Elaboración propia)



Figura 33. Situación de la zona ajardinada en el campus (Fuente: Google Maps)

- Aparcamientos frente al polideportivo la Arieté. Se trata de unos aparcamientos sin pavimentar, con numerosos hundimientos en el terreno que propician la aparición de charcos en momentos de lluvia intensa. Aquí se propone también la utilización de firmes permeables.



Figura 34. Fotografía del aparcamiento (Fuente: Elaboración propia)



Figura 35. Situación del aparcamiento en el campus (Fuente: Google Maps)

- Cuneta frente a los aparcamientos situados junto el pabellón polideportivo la Arieté y las pistas polideportivas abiertas. Se trata de una franja de terreno de gran longitud, pendiente prácticamente nula y de un ancho moderado. Se plantea la aplicación de una zanja de infiltración a lo largo de toda la longitud de la cuneta.



Figura 36. Situación de la cuenta frente al polideportivo la Arieté (Fuente: Google Maps)



Figura 37. Fotografía de la cuneta frente al polideportivo la Arieté (Fuente: Elaboración propia)

- Aparcamientos frente a las pistas deportivas abiertas y el pabellón polideportivo la Arieté. Se trata de un parking público, no asfaltado y de pendiente prácticamente despreciable. Se propone cambiar el firme actual por uno formado por pavimento permeable.



Figura 38. Fotografía aparcamiento frente a las pistas deportivas (Fuente: Elaboración propia)



Figura 39. Situación aparcamiento frente a las pistas deportivas (Fuente: Google Maps)

- Cuneta frente al edificio Leonardo Da Vinci y las pistas deportivas abiertas. Se trata de una franja de terreno vegetado de pendiente nula. Se propone la aplicación de una zanja de infiltración.



Figura 40. Fotografía cuneta frente al edificio Leonardo Da Vinci (Fuente: Elaboración propia)



Figura 41. Situación cuneta frente al edificio Leonardo Da Vinci (Fuente: Google Maps)

- Jardín ubicado en un lateral del edificio Leonardo Da Vinci. Se trata de un jardín poco vegetado y de pendiente prácticamente nula. Se propone construir un área de biorretención.



Figura 42. Fotografía jardín junto al edificio Leonardo Da Vinci (Fuente: Elaboración propia)



Figura 43. Situación jardín junto al edificio Leonardo Da Vinci (Fuente: Google Maps)

- Zona ajardinada situada frente al edificio Charles Darwin. Se propone la aplicación de un dren filtrante.



Figura 44. Zona ajardinada frente al edificio Charles Darwin (Fuente: Elaboración propia)



Figura 45. Situación zona ajardinada frente al edificio Charles Darwin (Fuente: Google Maps)

- Jardines frente al Teatro Griego. Se contempla la utilización de depósitos de infiltración.



Figura 46. Fotografía jardines frente al teatro griego (Fuente: Elaboración propia)



Figura 47. Situación jardines frente al teatro griego (Fuente: Google Maps)

4.5. ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS

4.5.1. INTRODUCCIÓN

A continuación se va a realizar el estudio de diferentes alternativas para la aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenible en el Campus de Rabanales en Córdoba. Para ello, una vez realizado el análisis previo de la situación del campus y las posibles actuaciones con sistemas urbanos de drenaje sostenible, se puede concluir con que su implantación podría mejorar la situación actual de recogida de aguas pluviales.

Se hará una selección de las posibles alternativas que serán valoradas posteriormente según diferentes criterios. Finalmente se escogerá la propuesta más adecuada como consecuencia de dicho análisis.

4.5.2. CRITERIOS DE VALORACIÓN

Para la valoración de las diferentes alternativas se van a tener en cuenta una serie de criterios ponderados de manera diferente según su importancia.

4.5.2.1. Criterios económicos

Uno de los factores más importante a tener en cuenta es el coste total de aplicación de los sistemas. Esto es la suma del coste de construcción y el coste de mantenimiento.

Para el cálculo del coste de mantenimiento se ha tenido en cuenta la valoración económica por metro cuadrado expuesta en el Proyecto de Urbanización de la Marina del Prat Vermell, 2011. En él, se ha calculado para cada tipo de SUDS el coste medio de mantenimiento anual que supone. Para los sistemas con zonas verdes (zanja filtrante, dren filtrante y área de biorretención) se estima 0,27 euros/m²*año; para los pavimentos permeables se estima 0,5 euros/m²*año y para el depósito de infiltración 1,57 euros/m²*año.

Para la evaluación dotaremos a los criterios económicos con un peso del **30%**: 20% para el coste de construcción y 10% para el coste de mantenimiento.

4.5.2.2. Criterios técnicos

Otro factor a tener en cuenta a la hora de la evaluación de las diferentes alternativas es la geotecnia de la zona de actuación. La profundidad de la excavación, la existencia o no de substratos rocosos, la pendiente del terreno o la altura del nivel freático influyen en gran medida la ejecución de la obra. Por ejemplo, excavar en roca resulta más dificultoso y costoso que en el caso de las arcillas.

Por otro lado, la existencia de árboles puede suponer un problema en la construcción de los SUDS. Las raíces, sobre todo las de árboles grandes, dificultan las tareas de excavación y relleno, puesto que para evitar el daño a los árboles es necesario proceder de manera cuidadosa y lenta, e incluso, en algunos casos, puede llegar a ser necesaria su extracción. Todo esto supone un incremento sustancial de los costes y del tiempo de ejecución de la obra, además del posible daño natural.

Por esto, en la evaluación de estos criterios, se favorecerá las soluciones que planteen una excavación superficial, con pendiente moderada, en la que la existencia de árboles (o vegetación de gran tamaño) sea la menor posible.

Para la evaluación de alternativas los criterios técnicos tendrán un peso del **20%**: 15% para la geotecnia del terreno y 5% para la existencia de vegetación.

4.5.2.3. Criterios medioambientales

Para la evaluación de alternativas resulta necesario la inclusión de una serie de criterios relacionados con el medio ambiente. La capacidad que posee el sistema para proporcionar calidad al hábitat receptor de las cargas de agua y contaminación, la mejora de la biodiversidad de especies vegetales y animales, la reducción de la contaminación o la mejora paisajística al aumentar el número de las zonas verdes, son, entre otros, algunos de ellos.

Es de vital importancia tener en cuenta la capacidad depuradora de los sistemas a implantar, puesto que debe asegurarse que el agua vertida directamente al cauce y el agua reutilizada no posean contaminantes que pongan en peligro la salud. En el caso de que no cumplan este requerimiento, la implantación de esos SUDS sería imposible o debería de utilizarse sistemas auxiliares de depuración para conseguir alcanzar las concentraciones de contaminantes requeridas por la normativa existente.

Por todo esto, las alternativas que permitan obtener unas aguas más depuradas serán valoradas de manera más positiva que las que tengan una menor capacidad de eliminación de los contaminantes. Además, también serán valoradas positivamente las alternativas que introduzcan un mayor número de especies vegetales.

Los criterios medioambientales poseerán por lo tanto un peso del **30%**: 20% para la calidad de las aguas y 10% para la introducción de especies vegetales.

4.5.2.4. Criterios sociales

Los criterios sociales hacen referencia al efecto de las diferentes alternativas en la población. Por un lado, se ha tenido en cuenta la aceptación del sistema empleado por parte de la comunidad y, principalmente gracias a la reducción de contaminación, y por otro, la repercusión que la construcción de los sistemas puede tener sobre los estudiantes y trabajadores en el Campus.

La mejora en el paisaje urbano como consecuencia de la aplicación de SUDS, supone la existencia de más espacios verdes dentro de las ciudades provocando que las personas tengan una percepción más positiva de su entorno.

La construcción de los sistemas puede llegar a dificultar el tránsito tanto a pie como en automóvil y es posible que se causen molestias por ruido o polvo en las cercanías de los edificios. Un factor importante a tener en cuenta es la reducción del número de plazas de aparcamiento durante la obra, lo cual puede agravar el problema ya existente de falta de plazas de aparcamiento para satisfacer la demanda de la comunidad universitaria.

En la evaluación de los criterios sociales, las alternativas que supongan mejora visual del campus recibirán una mayor puntuación. Por otro lado, se valorará las molestias que ocasiona la ejecución de cada una de las alternativas. Se penalizará a aquellas alternativas en las que se interfiera en mayor medida en la vida universitaria y de la ciudad, bien por encontrarse cercanas a lugares de gran afluencia de público o por ocasionar problemas en la circulación y estacionamiento de vehículos.

Para la evaluación de alternativas se adjudicará a los criterios sociales un peso del **20 %**: 10 % para la mejora del paisaje y 10 % para molestias ocasionadas a la población durante la ejecución de las obras.

4.5.3. ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

El primer paso para la aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenible en el campus se ha realizado un periodo de documentación e investigación para conocer los diferentes sistemas existentes en la actualidad, sus características y los requisitos técnicos necesarios para su correcto funcionamiento.

El siguiente paso ha sido realizar un diagnóstico de la situación actual de la zona y considerando los lugares donde una aplicación de SUDS sería óptima y con la ayuda de la bibliografía técnica consultada, se han elegido una serie de sistemas para ser aplicados en el campus, todos ellos aparecen en el apartado Diagnóstico del Campus.

Una vez determinados los SUDS que idealmente se podrían construir, se han seleccionado 4 alternativas diferentes en función del número de sistemas a implantar y de las zonas del campus donde actuar. Los criterios seguidos para la generación de las alternativas fueron la mejora de los diferentes aparcamientos existentes en el campus, la zonificación del campus y la homogenización del presupuesto, ya que a excepción de las alternativas 0 y 1, el resto tiene un presupuesto más o menos similar.

4.5.3.1. Alternativa 0

En esta alternativa no se propone la aplicación de SUDS.

4.5.3.2. Alternativa 1

En esta alternativa se propone la inclusión de solamente un SUDS, un pavimento permeable de gran extensión, 200 metros de largo por 46 metros de ancho, en los aparcamientos generales frente a los edificios Gregor Mendel, Severo Ochoa y José Celestino Mutis.



Figura 48. Fotografía aparcamiento general del campus (Fuente: Elaboración propia)

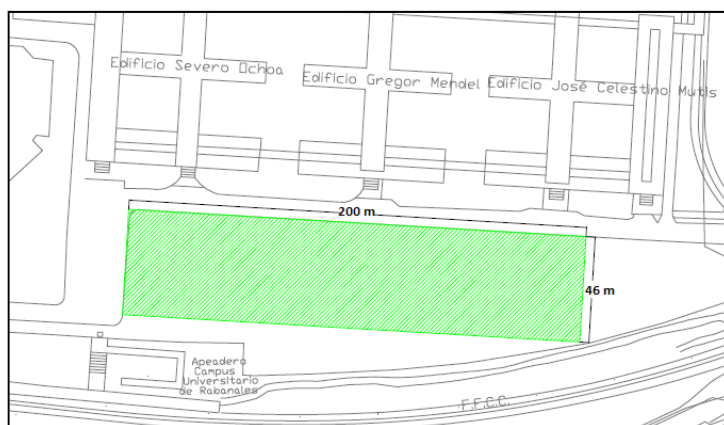


Figura 49. Esquema aparcamiento con firme permeable (Fuente: Elaboración propia)

4.5.3.3. Alternativa 2

Teniendo en cuenta los posibles sistemas a implantar detectados en el apartado de Diagnóstico del Campus, se propone la construcción de un SUDS de cada tipología, es decir, una superficie permeable, una zanja de infiltración y un área de biorretención, todos en la misma zona suroeste del campus.

Para ello, se han escogido tres localizaciones para cada sistema, donde su implementación sería la ideal siguiendo los criterios técnicos.

- Para la implantación del firme permeable se ha escogido el aparcamiento frente a las pistas deportivas abiertas y el pabellón polideportivo la Arieté. Se trata de un parking público, no asfaltado y de pendiente prácticamente despreciable. Se propone un aparcamiento con firme permeable de 68,68 metros de largo y 45 metros de ancho.



Figura 50. Fotografía aparcamiento frente a las pistas deportivas (Fuente: Elaboración propia)

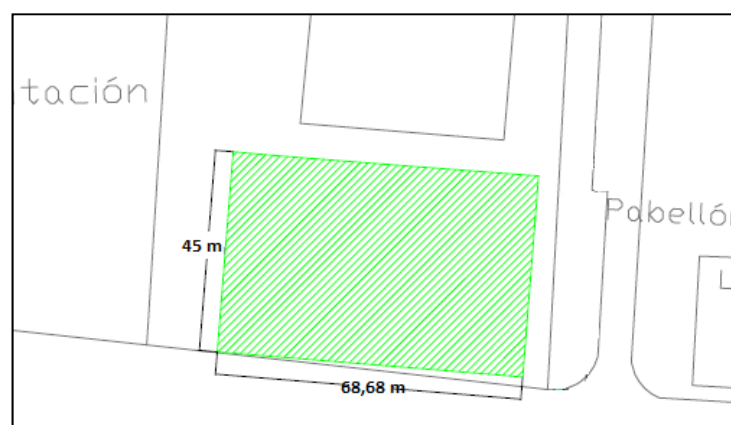


Figura 51. Esquema aparcamiento con firme permeable (Fuente: Elaboración propia)

- Para la zanja de infiltración se ha escogido una franja de terreno, dividida en dos partes por unas escaleras de acceso al parking inferior, frente a el pabellón polideportivo la Arieté y las pistas polideportivas abiertas. Se tratará de una zanja filtrante de 64,74 metros en una parte y 102,26 metros longitud en la otra y 2 metros de ancho en ambas.



Figura 52. Fotografía cuneta frente al polideportivo la Arieté (Fuente: Elaboración propia)

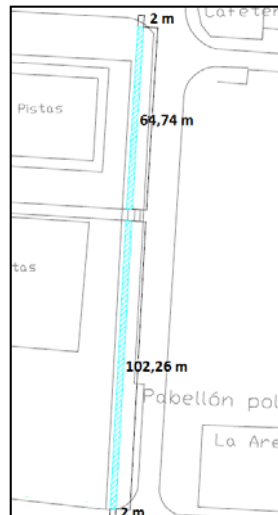


Figura 53. Esquema zanja filtrante (Fuente: Elaboración propia)

- Y por último, para el área de biorretención se propone su implantación en el jardín ubicado en un lateral del edificio Leonardo Da Vinci con unas medidas de 12 metros de ancho y 12 metros de largo. Se trata de una zona con terreno llano y sin vegetación.



Figura 54. Fotografía jardín junto al edificio Leonardo Da Vinci (Fuente: Elaboración propia)

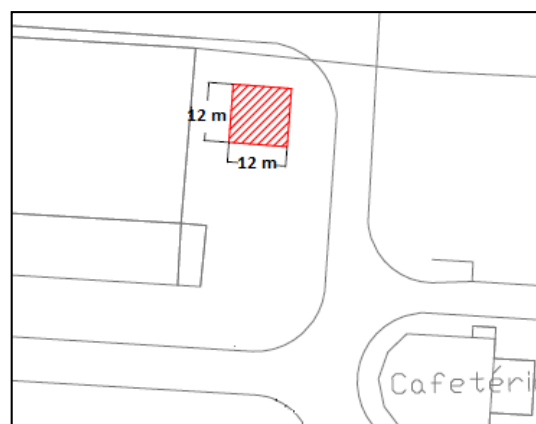


Figura 55. Esquema área de biorretención (Fuente: Elaboración propia)

4.5.3.4. Alternativa 3

En esta última alternativa, se propone la realización de un mayor número de SUDS que en la alternativa 2, dispuestos en diferentes localizaciones a lo largo del campus. Se incluyen las siguientes propuestas:

- Área de biorretención de 20 metros de ancho y 20 metros de largo en la zona ajardinada en frente del Aulario Averroes.



Figura 56. Fotografía jardines frente al aulario Averroes (Fuente: Elaboración propia)



Figura 57. Esquema área de biorretención (Fuente: Elaboración propia)

- Zanja filtrante de 85 metros de largo y 2 metros de ancho en la cuneta frente al edificio Leonardo Da Vinci y las pistas deportivas abiertas. Se trata de una zona con pendiente prácticamente nula y escasamente vegetada.



Figura 58. Fotografía cuneta frente al edificio Leonardo Da Vinci (Fuente: Elaboración propia)

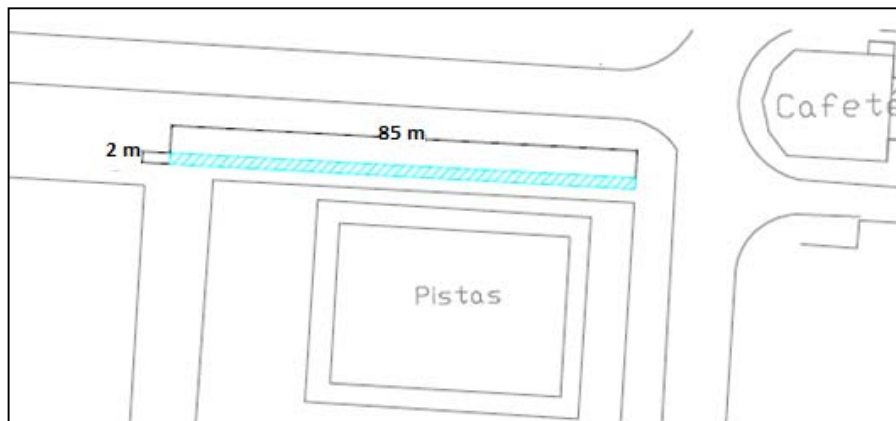


Figura 59. Esquema zanja filtrante (Fuente: Elaboración propia)

- Dren filtrante de 10 metros de largo y 1 metro de ancho frente al edificio Charles Darwin.



Figura 60. Fotografía zona ajardinada frente al edificio Charles Darwin (Fuente: Elaboración propia)

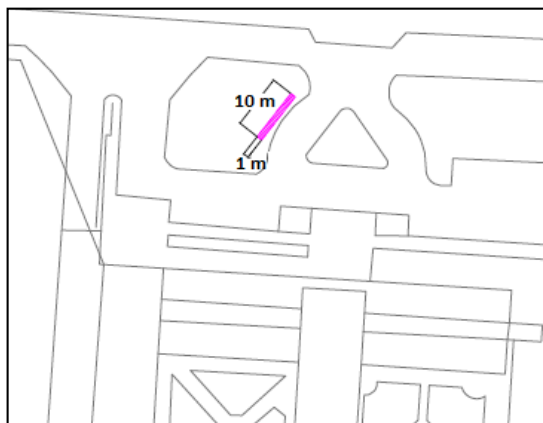


Figura 61. Esquema dren filtrante (Fuente: Elaboración propia)

- Depósito de infiltración frente al teatro griego de 10 metros de ancho y 10 metros de largo. Formado por 1680 módulos de drenaje tipo D-Raintank (Matrix) de la compañía Atlantis (0.45 m alto x 0.408 m ancho x 0.68 m largo).



Figura 62. Fotografía zona ajardinada frente al teatro griego (Fuente: Elaboración propia)



Figura 63. Esquema depósito de infiltración (Fuente: Elaboración propia)

- Pavimento permeable con capa de asfalto poroso de 150 metros de largo y 5,5 metros de ancho, en los aparcamientos frente al polideportivo la Arieté.



Figura 64. Fotografía aparcamiento frente al polideportivo la Areté (Fuente: Elaboración propia)

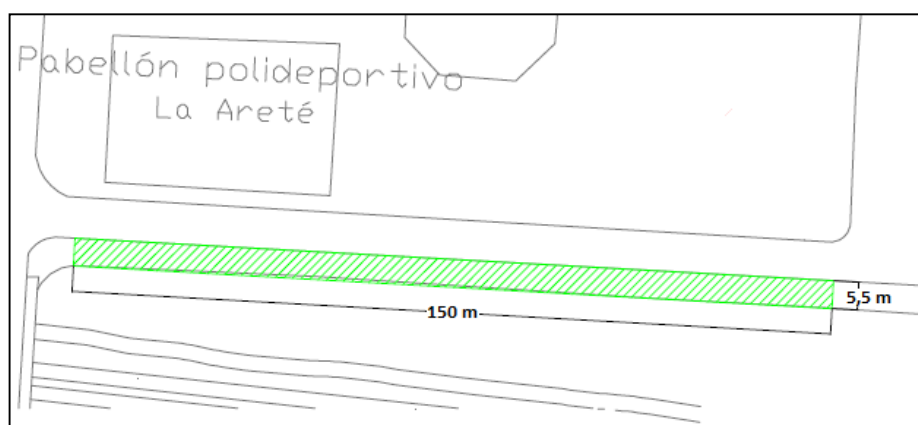


Figura 65. Esquema aparcamiento con firme permeable (Fuente: Elaboración propia)

4.5.4. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

A continuación, se va a llevar a cabo la valoración de las diferentes alternativas de construcción para su implantación en el Campus de Rabanales. Para ello se ha realizado un análisis en base a los criterios anteriormente citados y dotando una calificación del 1 al 5, siendo el 5 el mejor y 1 el peor.

En el apartado de Valoración Económica de las Alternativas queda reflejado el coste estimado de construcción que supone cada alternativa.

Alternativa 0

Criterios económicos

En este caso, al optarse por la no construcción de ningún sistema, no será necesario considerar costes de construcción y por lo tanto, desde el punto de vista económico, al considerarse lo más rentable, supone concederle la mejor calificación posible, 5.

Aunque los costes de construcción sean nulos, si que se tendrían que tener en cuenta los costes de mantenimiento de los sistemas existentes, no obstante, por su valor es notablemente inferior al del resto de alternativas y a la hora de valorarlo comparativamente con el resto de soluciones se omitirá.

Es debido al importante peso que supone la valoración económica a la hora del resultado final que la alternativa 0 resultará con diferencia la más indicada teniendo en cuenta el coste económico. Pero debido al estado actual del sistema de drenaje y a que en el futuro será necesario que las estructuras existentes sean reformadas para adaptarlas al cambio climático y así garantizar la seguridad frente a futuras inundaciones, se

ha considerado que el coste de reforma resultará similar al de la aplicación de SUDS dado que los elementos a tratar son los mismos. Por lo tanto, será necesario aplicar una corrección a las calificaciones de este apartado y tanto para los costes de construcción como para los costes de mantenimiento se concederá la calificación de 3 puntos.

Criterios técnicos

Teniendo en cuenta los criterios técnicos esta alternativa resulta muy favorable dado que al no realizar ningún tipo de actuación no implica excavación alguna ni habrá vegetación ni árboles que dificulten la construcción. Por lo tanto, su calificación será de 5 puntos para cada apartado.

Criterios medioambientales

De la misma manera, al no realizar ninguna actuación, las aguas no serán depuradas ni se introducirán nuevas especies vegetales en el campus y, por lo tanto, ambos criterios tendrán una calificación de 1 puntos.

Criterios sociales

En cuanto a los criterios sociales, la no mejora de la superficie supondrá que el agua superficial seguirá acumulándose en la superficie y, por lo tanto, representará un perjuicio tanto para vehículos como para las personas que transiten la zona. Por otro lado, al no realizarse obras, no se reducirá el número de plazas de aparcamiento, ni los ruidos y suciedad molestarán a los trabajadores y residentes de la zona. Por todo esto, se considera que en cuanto a las molestias que se pueden ocasionar son más las ventajas que las desventajas, y por tanto, la puntuación es de 3 puntos.

En cuanto a la inclusión de espacios verdes, al no implantarse ningún sistema no se mejorará la percepción del entorno y se le otorga 1 puntos.

Puntuación total

Una vez valorados todos los criterios con sus respectivas ponderaciones, esta alternativa obtendrá una puntuación total de 2,6 puntos.

Alternativa 1

Criterios económicos

El total del coste económico estimado, incluyendo costes de construcción (266.019,80 euros) y costes de mantenimiento (4.738,00 euros), asciende a **270.757,80 euros**. Esto supone que aunque el número de SUDS a implantar es el más pequeño (solamente uno), al tratarse de un aparcamiento de grandes dimensiones, esta alternativa es la más costosa de todas las planteadas y por lo tanto, en su valoración constituirá la menos puntuada. Por ello, en la valoración de los criterios económicos costes económicos se otorga 2 puntos tanto a los costes de construcción como de mantenimiento.

Criterios técnicos

Para la construcción de un pavimento permeable la excavación necesaria, en general, no es muy profunda. En este caso, y a falta de un diseño más detallado, se propone una excavación de menos de alrededor de 50 cm de profundidad. Además, se trata de una zona llana con una pendiente del terreno prácticamente nula. Por lo tanto, para esta alternativa, al no proponerse ningún SUDS más, se realizará una excavación superficial, con pendiente nula y su valoración será de 4 puntos.

Por otro lado, en la situación actual del aparcamiento, existen gran cantidad de árboles de gran tamaño,

situados de manera aleatoria a lo largo de todo el terreno. Al ser necesario organizar las plazas del aparcamiento, muchas de ellas coincidirían con la posición de algún árbol, lo que haría necesaria su extracción. Además, la existencia de gran cantidad de raíces, dificultará mucho las labores de excavación y construcción. Por todo esto, dado que esta alternativa será la más desfavorable en el apartado de existencia de vegetación, se le otorgará una calificación de 1 punto.

Criterios medioambientales

En esta alternativa, al solo proponerse un SUDS, se tendrá una capacidad de eliminación de contaminantes menor que las siguientes alternativas, puesto que se propone un menor número de sistemas a aplicar. En todo caso, su valoración será más alta que la de la alternativa 0 ya en ella no se propone ninguna actuación. Para la mejora de la calidad de las aguas la alternativa 1 se califica con 3 puntos.

En cuanto a la introducción de especies vegetales, en esta propuesta no se ha tenido en cuenta la introducción de ninguna especie, sino que por el contrario, en algunos casos será necesario la extracción de alguna especie. Por ello, en este apartado se le otorgará la menor puntuación posible, 1 punto.

Criterios sociales

En la situación actual, el terreno del aparcamiento no está asfaltado, y por lo tanto cuando se producen precipitaciones, la zona se embarra, provocando que los coches tengan más dificultad para circular por él y provocando molestias a los peatones. Además, este terreno tiene abundancia de baches y socavones que provocan la existencia de gran cantidad de charcos en inundaciones en el terreno. Por esto, la realización de un aparcamiento con firme permeable evitaría muchas molestias a los usuarios del aparcamiento.

Por otro lado, este aparcamiento es el principal del Campus, puesto que es el de mayor capacidad y se encuentra próximo a la biblioteca, a los edificios de ciencias y el aulario Averroes. La construcción de un aparcamiento en la época lectiva supondría una disminución muy importante de plazas de aparcamiento y constituiría un gran perjuicio para estudiantes y trabajadores del campus puesto que deberían de estacionar en otros lugares muchos más alejados. Además, debido a su cercanía a la biblioteca y aulas, las molestias que el ruido durante la construcción puede contraer, también ha de tenerse en cuenta.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que hay tanto molestias como ventajas en su ejecución, se valorará este apartado con una puntuación intermedia de 3 puntos.

En cuanto a la mejora del paisaje, aunque no se introducirán especies vegetales que mejoren el aspecto visual de la zona, el estado actual en el que se encuentra el terreno hace que la construcción de un aparcamiento asfaltado, con plazas de estacionamiento organizadas, suponga una mejora visual del campus y por lo tanto una percepción del entorno positiva. Por ello, se le otorgan 3 puntos en esta parte.

Puntuación total

Una vez valorados todos los criterios con sus respectivas ponderaciones, esta alternativa obtendrá una puntuación total de 2,55 puntos.

Alternativa 2

Criterios económicos

En la valoración económica de la alternativa 2, se ha estimado en **110.305,55 euros** el coste total. Si no tuviéramos en cuenta la alternativa 0, esta supone la propuesta económicamente más atractiva.

El coste de construcción asciende a 108.570,67 euros, y por lo tanto comparativamente con las alternativas 1 y 3, es el más bajo y se valorará con 5 puntos.

En cuanto al coste de mantenimiento, su valor asciende a 1.734,88 euros. Como se verá a continuación, el

mantenimiento de la alternativa 3 es más barato y, por lo tanto, la valoración de este punto no será la más alta posible, otorgándosele 4 puntos.

Criterios técnicos

Al igual que en la alternativa 1, en un primer momento y a falta de un diseño más preciso, el pavimento permeable propuesto tiene una profundidad de alrededor de 50 cm (la profundidad siempre será menor de 1m), y por lo tanto la excavación necesaria no será profunda. Además, el terreno del aparcamiento donde se pretende implantar el firme permeable es totalmente llano y sin árboles o vegetación de importancia que pueda dificultar la construcción.

Para la zanja filtrante y el área de biorretención, el terreno también tiene una pendiente muy reducida o prácticamente nula, la excavación necesaria será inferior a 2 metros y la vegetación en la zona de aplicación es inexistente. Si bien en la zanja de infiltración a una distancia de 2 metros se pueden encontrar una fila de árboles, estos no suponen molestia alguna en la construcción de los sistemas.

Por todo esto, en esta propuesta aunque se trate de un terreno plano como en la alternativa anterior, la profundidad de excavación de dos de los tres sistemas es algo mayor y por lo tanto, en el apartado de geotécnica del terreno, se le otorga una puntuación de 4 puntos.

En la evaluación de la existencia de vegetación se le otorgará la mayor puntuación posible, 5 puntos.

Criterios medioambientales

Esta alternativa constituye la segunda mejor opción desde un punto de vista medioambiental, puesto que aunque no es la que más número de sistemas propone implantar, sí que plantea tres sistemas de una extensión considerable y por lo tanto proporciona una buena capacidad de eliminación de contaminantes. Además también cuenta con dos sistemas que introducen nuevas especies vegetales a la zona.

Por todo lo anterior, se otorgan 4 puntos tanto en el apartado de calidad de las aguas como al de introducción de especies vegetales.

Criterios sociales

Desde un punto de vista social, esta alternativa se considera la más idónea de todas las expuestas debido a que ya no solo mejora la imagen actual del campus introduciendo espacios vegetados en zonas que en la actualidad presentan un estado bastante desmejorado, sino que también es la opción que produce una menor cantidad de molestias a los usuarios.

Todos los SUDS planteados se encuentran ubicados en la parte sur-oeste del campus, zona relativamente poco transitada por vehículos en comparación con otras, puesto que el aparcamiento no se encuentra operativo actualmente. Además, se trata de una parte del campus en la que solamente se encuentra una facultad, el edificio Leonardo Da Vinci, por lo que el número de estudiantes y trabajadores es algo menor. Es por esto que si esta opción llega a construirse las molestias generadas serán las menores ya que no se estará disminuyendo la cantidad de estacionamientos y los ruidos y molestias para los usuarios debido a su construcción también serán menores.

Es debido a todo lo anterior por lo que se le otorgan 5 puntos a las dos categorías dentro de los criterios sociales.

Puntuación total

Una vez valorados todos los criterios con sus respectivas ponderaciones, esta alternativa obtendrá una puntuación total de 4,45 puntos.

Alternativa 3

Criterios económicos

En esta alternativa se estima un coste total de **121.363,04 euros**, donde el coste de construcción asciende a 120.702,71 euros y el coste de mantenimiento a 660,33 euros. Esto supone que, en cuanto a coste total y coste de construcción, la alternativa 3 resulta la segunda opción más elevada. Sin embargo, teniendo en cuenta el coste de mantenimiento, será la más económica (no teniendo en cuenta la alternativa 0), ya que, aunque se han de construir mayor cantidad de SUDS, estos tienen una menor extensión que los propuestos en las otras alternativas y como el mantenimiento se valora por m², el resultado será de menor coste.

Por todo esto, se calificarán los costes de construcción con una puntuación de 4 y el coste de mantenimiento con 5 puntos.

Criterios técnicos

Al igual que en las alternativas 1 y 2, para el pavimento permeable, la zanja de infiltración, el área de biorretención, y en este caso además, el dren filtrante, la excavación necesaria es poco profunda. Sin embargo, para la realización de un depósito de infiltración es necesaria una excavación de una profundidad mayor, unos 3 metros. Es por esto, que desde este punto de vista, esta solución es menos adecuada que las dos anteriores y se dota a este apartado con una puntuación de 3 puntos.

En cuanto a la existencia de vegetación en las zonas seleccionadas, existe en la zona del aparcamiento, árboles de un tamaño considerable que pueden impedir o dificultar la excavación para el pavimento. Por lo tanto, en su evaluación se le otorgan 3 puntos.

Criterios medioambientales

Atendiendo a los criterios medioambientales, la alternativa 3 sería la más adecuada ya que se lleva a cabo la eliminación de contaminantes en las aguas en el mayor número de las zonas del campus y además tiene un mayor número de sistemas con zonas verdes.

Por ello, de todas las alternativas propuestas, esta será la que mayor puntuación tendrá en cuanto a la calidad de las aguas e introducción de especies vegetales, 5 puntos en ambas categorías.

Criterios sociales

Al igual que en la alternativa 2, la mejora visual del campus debida a la introducción de zonas verdes y la mejora de los aparcamientos supone una mejor percepción del entorno por parte de los usuarios. Además, el aparcamiento actual donde se propone la actuación con firme permeable no se encuentra asfaltado, donde el terreno tiene gran cantidad de baches y socavones que se inundan y provocan continuas molestias en época de lluvias.

Sin embargo, al contrario que en la alternativa anterior, los SUDS propuestos se ubican en zonas del campus con bastante paso de vehículos y personas. Esto conlleva que durante la construcción las molestias debidas al ruido de la maquinaria, el corte del tráfico y la disminución de plazas de aparcamiento, supongan un perjuicio importante sobre esta alternativa.

Debido a todo lo anterior, se valoran en los criterios sociales de esta alternativa con 5 puntos en el apartado de mejora del paisaje y 2 puntos en el de molestias a los usuarios.

Puntuación total

Una vez valorados todos los criterios con sus respectivas ponderaciones, esta alternativa obtendrá una puntuación total de 4,1 puntos.

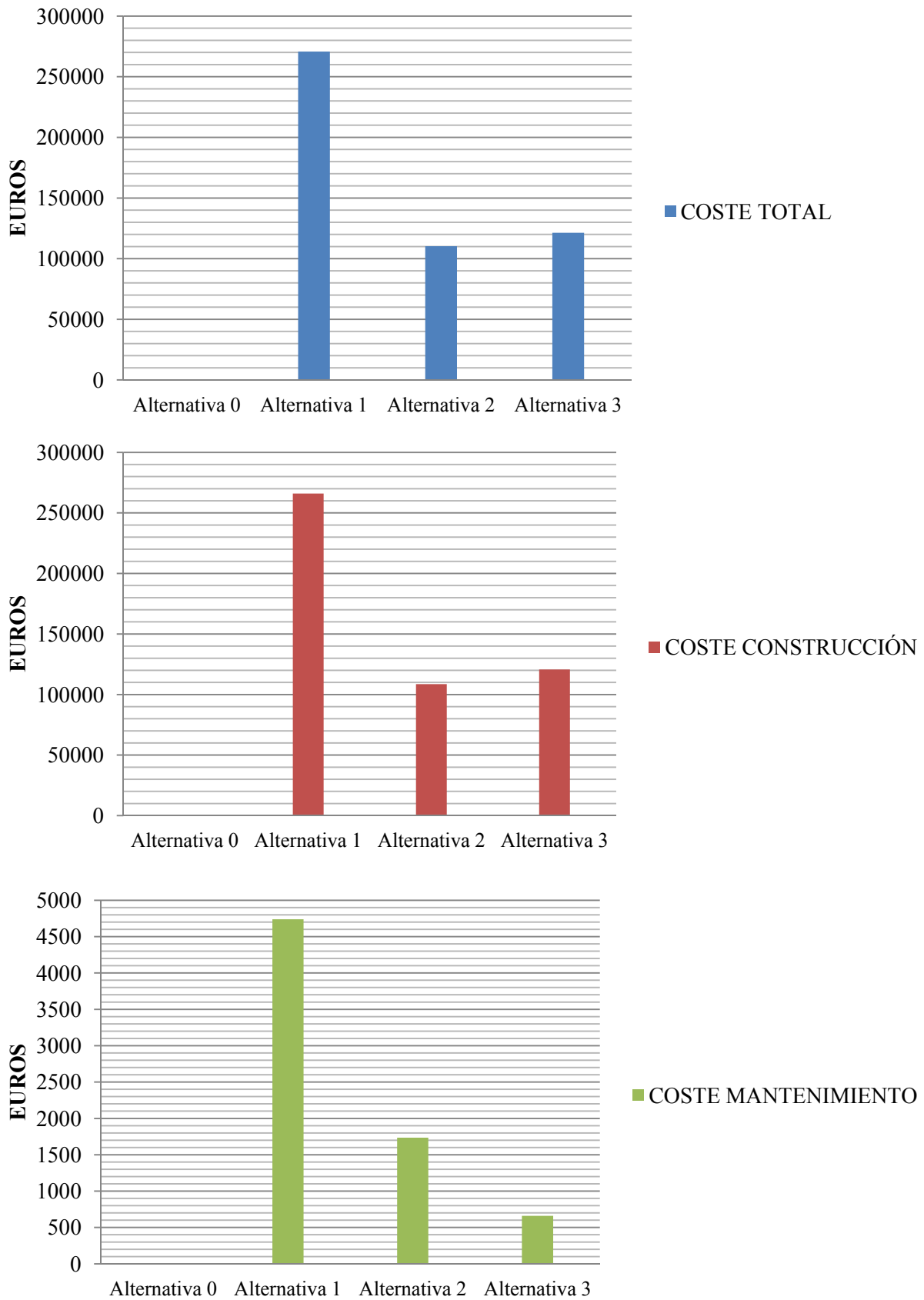
En la tabla a continuación se muestra un resumen de las puntuaciones obtenidas por cada categoría así como su puntuación y posición final:

	Criterios económicos		Criterios técnicos		Criterios medioambientales		Criterios sociales		Puntuación Total	Posición
	Coste construcción	Coste mantenimiento	Geotecnia	Existencia vegetación	Calidad aguas	Introducción especies	Mejora paisaje	Molestias		
Alternativa 0	3	3	5	5	1	1	1	3	2,6	3
Alternativa 1	2	2	4	1	3	1	3	3	2,55	4
Alternativa 2	5	4	4	5	4	4	5	5	4,45	1
Alternativa 3	4	5	3	3	5	5	5	2	4,1	2
%	20	10	15	5	20	10	10	10		

Tabla 18. Resumen análisis alternativas seleccionadas (Fuente: Elaboración propia)

Tras la valoración de las diferentes alternativas se propone que la seleccionada sea la **alternativa 2** en el Campus de Rabanales, que consiste en la realización de un pavimento permeable, una zanja de infiltración y un área de biorretención.

4.5.5. COMPARATIVA GRÁFICA DE LOS COSTES



4.6. DISEÑO DE LOS SUDS

4.6.1. DISEÑO DEL PAVIMENTO PERMEABLE

España es un país donde la implementación de los SUDS no está muy desarrollada, aunque en los últimos años ha habido un auge en la realización de manuales y recomendaciones técnicas para el diseño de pavimentos permeables. Solamente el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), mediante la publicación “Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano”[4], ha propuesto una serie de recomendaciones en el diseño de pavimentos permeables.

Por el contrario, países como Reino Unido o Estados Unidos, sí que disponen de normas y manuales sobre el diseño de estos sistemas lo suficientemente consolidados, puesto que llevan muchos años empleando este tipo de superficies.

A la hora de diseñar un pavimento permeable es necesario tener en cuenta que el objetivo de estos es gestionar un determinado evento de precipitación, a la vez que realiza una función estructural. En base a esto, el diseño óptimo de un pavimento permeable debe realizarse atendiendo a dos criterios: criterios hidrológicos e hidráulicos y criterios estructurales.

- ***Criterios hidrológicos e hidráulicos.***

Definen la capacidad de gestionar las escorrentías urbanas de manera eficiente, reteniendo un evento de lluvia deseado, y evacuarlo controladamente hacia el terreno subyacente o al sistema de drenaje en un tiempo entre 24 y 48 horas. Por tanto, el diseño hidrológico e hidráulico de un pavimento poroso, se realiza con el fin de atenuar o solucionar los problemas de cantidad y de calidad.

- ***Criterios estructurales.***

Son los encargados de asegurar que el sistema posea resistencia estructural suficiente para soportar las cargas de tráfico debidas a los vehículos.

4.6.1.1. Diseño Hidrológico e Hidráulico

A la hora de diseñar hidrológica e hidráulicamente un pavimento permeable es necesario contar con dos datos fundamentales: la lluvia de cálculo y el volumen de agua afluente que recoge el pavimento. Para que el diseño sea el óptimo es preciso considerar las condiciones climatológicas y topográficas de la zona de estudio.

Para definir la lluvia de cálculo es necesario contar con los datos climatológicos locales, puesto que la elección de la tormenta de diseño va a depender de la función del pavimento permeable, y se caracteriza por su duración (que será igual al tiempo de concentración de la cuenca), volumen de precipitación, intensidad y periodo de retorno.

Para conocer el volumen de agua afluente que recoge el pavimento permeable, es necesario saber que éste se compone de la precipitación directa que cae sobre el mismo pavimento, mas la escorrentía movilizada en superficies impermeables adyacentes que drenan hacia la estructura. El análisis de la topografía permite identificar las cuencas drenantes hacia el pavimento, caracterizadas principalmente por el área y el grado de impermeabilidad, lo que determina el volumen de agua afluente a recoger por el pavimento. Existen varios métodos para cuantificar la escorrentía, pero en el caso de pequeñas cuencas típicas de pavimentos permeables, se recomienda la aplicación del Método Racional (A.R.C., 2001) según Woods-Ballard [17].

El diseño hidrológico e hidráulico de pavimentos permeables debe tener en cuenta cuatro aspectos:

4.6.1.1.1. Percolación de la capa de pavimento

La capa superficial del pavimento siempre debe de tener una capacidad de percolación mayor que la máxima intensidad de lluvia de la zona con el fin de que toda el agua sea absorbida por el pavimento y no se produzca

escorrentía superficial. Por ejemplo, según CIRIA [6], valores típicos de percolación para pavimentos de hormigón poroso suelen estar entre 0,5 y 5 cm/s.

Es importante también tener en cuenta que esta capacidad de percolación irá disminuyendo conforme pase el tiempo. Los huecos o juntas de la superficie se irán colmatando debido a las partículas e impurezas que arrastra el agua, por lo que es necesario aplicar un factor de seguridad que dependerá del clima y de la topografía de la zona donde trabajamos. El valor de este factor varía de unos autores a otros, por ejemplo, Woods-Ballard *et al* [17] recomiendan un factor de seguridad de 10, mientras que Rodríguez Hernández [16] indica que el valor mínimo debe ser del orden de 10, pudiendo considerarse ordenes mayores como 100 o incluso 1.000 al disminuir la esperanza de mantenimiento.

4.6.1.1.2. Volumen de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento en el propio pavimento es uno de los principales criterios de diseño a tener en cuenta y depende directamente de las características del régimen de precipitación, de la capacidad de infiltración al terreno subyacente, de la capacidad del drenaje complementario (si existe) y del área drenada al propio pavimento. Además, está directamente relacionada con el espesor de cada una de las capas del pavimento y sus respectivos índices de huecos.

Desde el punto de vista de la calidad del agua, la función principal del pavimento permeable consiste en garantizar que se almacena como mínimo, el volumen de escorrentía generado por pequeñas tormentas, y el “*first flush*” (primer lavado) de los grandes eventos. A este volumen se le denomina “*volumen de calidad de agua*” (WQ_v) y es el parámetro básico de diseño del volumen de almacenamiento.

Se define el volumen de calidad de agua como el volumen de tratamiento necesario para reducir las cargas de sólidos en suspensión vertidos al medio receptor al menos un 80% del valor medio anual, y se obtiene a partir de series anuales de precipitación según [4].

Según U.S.EPA (2004a), para definir el volumen de calidad, pueden emplearse dos métodos:

- Método simplificado (The Short Cut Method).
- Método hidrológico de pequeñas tormentas (Small Storm Hydrology Method).

Ambos métodos depende de un coeficiente volumétrico de escorrentía (R_v) y del volumen de precipitación caído en la cuenca, y son aplicables a cuencas urbanas de hasta 40- 50 hectáreas, que posean un alto grado de impermeabilidad [4].

Método simplificado

En este proyecto va a utilizarse el Método simplificado. Habitualmente se utiliza para cuencas donde predomina un determinado uso del suelo o para realizar un cálculo rápido que permita estimar un orden de magnitud del volumen de calidad. El volumen de calidad se obtiene según la siguiente expresión:

$$WQ_v = P \cdot R_v \cdot A$$

Donde:

WQ_v : Volumen de calidad de agua

P: Precipitación de diseño

R_v : Coeficiente volumétrico de escorrentía

A: Área de la cuenca

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot I$$

En el anejo de hidrología podemos observar que la intensidad de lluvia para la zona de estudio es 29,02 mm/h.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot 29,02 = 0,311$$

Para calcular la precipitación de diseño se usan percentiles de la serie de precipitaciones del año medio. Las más usadas en EEUU son las del percentil 85% y la del 90%. En este proyecto se utilizará el percentil 90% de la serie de precipitaciones del año medio, es decir, significa que solo en el 10% del número total de observaciones diarias de precipitación, la lluvia registrada fue mayor que el 90% restante. Ello nos permite considerar a dicha lluvia como un evento extremo y no muy común ya que ocurre solamente durante un 10% del número total de las observaciones.

Considerando los datos climatológicos que tenemos acerca de la precipitación anual media, la precipitación de diseño será 103,5 mm.

Por otro lado, la cuenca drenante resulta ser directamente proporcional al volumen de

escorrentía que entrará en el pavimento permeable. La capacidad de infiltración de la explanada marcará qué cantidad de escorrentía se infiltrará en el terreno, representando una de las salidas del sistema.

En el parking de estudio, la cuenca drenante coincide con la del aparcamiento más las áreas impermeables adyacentes que supongan aportes externos. Por tanto, la superficie de la cuenca es de 7.656,225 m² y la superficie impermeable es de 3073,26 m²

Por lo tanto:

$$WQ_v = P \cdot R_v \cdot A_{cuenca} = 0,1035 \cdot 0,311 \cdot A_{cuenca}$$

$$WQ_v = 246,44 \text{ m}^3$$

Una vez conocido el volumen que se quiere almacenar en el pavimento permeable, es posible obtener el espesor de la sub-base, además del área permeable necesaria. El cálculo puede afrontarse de dos maneras diferentes, planteando un balance de volúmenes, o bien, mediante un modelo matemático de simulación.

En este proyecto, el cálculo de los firmes permeables se realiza mediante balance de volúmenes:

$$V_{almacenado} = V_{afluente} - V_{efluente}$$

Siendo $V_{afluente} = V_{escorrentía} + V_{lluvia}$ y $V_{efluente} = V_{infiltración} + V_{desagüe}$ resulta:

$$V_{almacenado} = (V_{escorrentía} + V_{lluvia}) - (V_{infiltración} + V_{desagüe})$$

Tomando:

$$V_{almacenado} = A_{permeable} \cdot (n_{sub-base} \cdot h_{sub-base} + n_{base} \cdot h_{base} + n_{superficie} \cdot h_{superficie})$$

$$V_{lluvia} = I_{lluvia} \cdot A_{permeable} \cdot t_{lluvia}$$

$$V_{escorrentía} = I_{lluvia} \cdot A_{impermeable} \cdot t_{lluvia}$$

$$V_{infiltración} = f_{suelo} \cdot A_{infiltración} \cdot t_{infiltración}$$

$$V_{desagüe} = Q_{desagüe} \cdot t_{desagüe}$$

Se obtiene la ecuación general siguiente:

$$\begin{aligned} A_{permeable} \cdot (n_{sub-base} \cdot h_{sub-base} + n_{base} \cdot h_{base} + n_{superficie} \cdot h_{superficie}) \\ = I_{lluvia} \cdot t_{lluvia} \cdot (A_{permeable} + A_{impermeable}) \\ - (f_{suelo} \cdot A_{infiltración} \cdot t_{infiltración} + Q_{desagüe} \cdot t_{desagüe}) \end{aligned}$$

Según (Pratt, Wilson y Cooper (2002)) en esta ecuación general se considera:

$$A_{infiltración} = A_{permeable}$$

$$n_{base} \cdot h_{base} + n_{superficie} \cdot h_{superficie} = 0$$

$$t_{infiltración} = t_{lluvia}$$

$$V_{desagüe} = 0 \text{ (no se tiene en cuenta la capacidad de desagüe)}$$

Resultando:

$$A_{permeable} \cdot n_{sub-base} \cdot h_{sub-base} = I_{lluvia} \cdot t_{lluvia} \cdot (A_{permeable} + A_{impermeable}) - f_{suelo} \cdot A_{permeable} \cdot t_{lluvia}$$

$$A_{permeable} + A_{impermeable} = A_{cuenca}$$

De donde puede despejarse el espesor del relleno:

$$h_{sub-base} = \frac{t_{lluvia}}{n_{relleno}} \left(I_{lluvia} \cdot \frac{A_{cuenca}}{A_{permeable}} \right) - f_{suelo}$$

El tiempo de lluvia lo estipulamos en 30 minutos (0,5 horas), pues raramente los eventos extremos de tormentas duran más. Para este tiempo de precipitación se ha calculado que la intensidad de lluvia es de 100 mm/h.

Para la porosidad de la grava de la sub-base, el intervalo adecuado variará entre 0,32 y 0,4 m, según [4], por lo tanto en este proyecto tomaremos un valor de 0,35.

Suponemos también que no se infiltra nada del agua, aunque es una hipótesis conservadora ya que algo siempre lo hará, pero así nos encontramos del lado de la seguridad, por lo tanto tomamos $f = 0$.

$$h_{sub-base} = \frac{0,5}{0,35} \left(0,1 \cdot \frac{A_{cuenca}}{A_{permeable}} \right)$$

$$\text{Área cuenca} = 7.656,225 \text{ m}^2$$

$$\text{Área permeable} = 3.073,26 \text{ m}^2$$

$$h_{sub-base} = 0,3558 \text{ m} = 35,58 \text{ cm}$$

4.6.1.1.3. Drenaje longitudinal

Será necesaria también la utilización de drenes longitudinales para aumentar la capacidad de infiltración del suelo y evacuar la salida del agua del interior de la sub-base. Actualmente en España no existe ninguna normativa sobre la capacidad que deben de tener los drenes aunque un rango utilizado por los diferentes autores consultados es de entre 1 y 5 l/s/ha.

La mayoría manuales consultados consideran el drenaje de salida como un orificio, y por lo tanto es dado por la ecuación:

$$Q = C_d \cdot A \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{0,5}$$

Donde:

Q: Caudal desaguado (m^3/s).

Cd: Coeficiente de descarga.

A: Sección transversal del orificio (m^2).

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2).

h: Máxima altura del agua sobre el orificio (m).

Se considera el caudal desaguado como el máximo 5 l/s (0,005 m^3/s), el coeficiente de descarga igual a 0,8 y la altura máxima del agua sobre el orificio 0,25 m. Por lo tanto:

$$A = \frac{Q}{C_d \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{0,5}} = \frac{0,005}{0,8 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 0,25)^{0,5}} = 0,00282 \text{ m}^2 = 28,2 \text{ cm}^2$$

Sabiendo que la sección de la tubería es circular, sabemos que: $A = 2 \cdot \pi \cdot r^2$ y por lo tanto, el orificio tendrá un diámetro de 50 mm.

4.6.1.1.4. Gestión de eventos extremos de precipitación

Durante su vida útil es posible que los sistemas de pavimentos permeables estén expuestos a situaciones extremas de lluvias en los que la capacidad de la infraestructura se vea superada a la capacidad para la que se diseñó. Debido al riesgo de obstrucción, no debe permitirse el almacenamiento de la escorrentía en la superficie. Es por ello que todos estos sistemas deben de incluir elementos de emergencia frente a inundaciones, como tuberías o desagües, que viertan hacia zonas verdes adyacentes. Según el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* [12] estos eventos extremos serán cada vez más cercanos en el tiempo y han de tenerse en cuenta en el diseño.

Para Woods-Ballard [4] la colocación de imbornales por encima del nivel del pavimento permitiría un drenaje óptimo de los caudales que superen la capacidad de infiltración de la superficie aunque llevara consigo el perjuicio de facilitar la formación de charcos.

4.7.1.2. Diseño Estructural

A la hora de diseñar estructuralmente un pavimento permeable, el dato fundamental que debemos de conocer es el espesor mínimo que va a requerir la estructura. Según [17], los criterios de diseño deben proporcionar la capacidad portante adecuada a la categoría de tráfico que deba soportar el pavimento sin que sufra deformaciones importantes.

Aunque el procedimiento de diseño depende de la superficie permeable empleada, siempre se contemplan los siguientes pasos:

- Establecer la categoría de tráfico.
- Comprobar la calidad de la explanada para asegurar la capacidad portante de la estructura. Y de ser necesario, mejorar la capacidad portante.
- Seleccionar el tipo de sub-base y su espesor.
- Seleccionar el tipo y espesor de la superficie permeable.

4.6.1.2.1. Categoría de tráfico y calidad de la explanada

La capacidad portante de la explanada determina su calidad y es medida a través del índice CBR (The Californian Bearing Ratio). El valor de soporte mínimo que debe de ofrecer la explanada es de 5 y este aumentará conforme lo haga el tráfico que ha de soportar. Debido a que los aparcamientos soportan una categoría de tráfico ligero, se considerará un CBR=5.

4.6.1.2.2. Base y Sub-base

Con respecto a la base del pavimento, generalmente esta consiste en una capa de grava de 16 mm de diámetro, y suele tener un espesor de entre 25 mm y 50 mm [1]. En nuestro caso, la base estará formada por una capa de grava de 16 mm de diámetro y un espesor de 50 mm.

La sub-base está formada normalmente por grava de un diámetro comprendido entre 20 mm y 75 mm [1], y el espesor mínimo que establecen la mayoría de manuales y normativas para asegurar la funcionalidad del firme desde el punto de vista estructural, es de 15 centímetros. En este proyecto con lo calculado en el diseño hidráulico, la sub-base contará con un espesor de 35 cm con un diámetro de grava de 50 mm y estará

compuesta por zahorra drenante.

4.6.1.2.3. Superficie permeable

En cuanto a la superficie permeable, su espesor viene determinado de acuerdo a la resistencia que debe soportar durante su uso, y de la tipología de superficie. El rango de valores de espesor y los materiales a emplear son muy variables. En los aparcamiento utilizaremos como superficie permeable dos capas de asfalto poroso de 5 cm de espesor cada una.

4.6.2. DISEÑO DE LA ZANJA DE INFILTRACIÓN

4.6.2.1. Parámetros de diseño

Las zanjas de infiltración se diseñan fundamentalmente para el control de la contaminación aunque pueden proporcionar una limitada capacidad del control de la cantidad de agua. Si se requiere control de caudales punta, las zanjas deben diseñarse con otro sistema de tratamiento que permita la atenuación de los hidrogramas.

A continuación se muestran una serie de condicionantes físicos a la hora del dimensionamiento:

- El área de drenaje debe ser inferior a las 2 ha.
- Las zanjas normalmente deben de tener una profundidad de entre 1 y 2 metros.
- Se diseñan para flujos intermitentes para que el agua drene entre distintos aguaceros.
- La ocupación en planta dependerá de la profundidad de la zanja.
- La pendiente del perfil longitudinal no será superior al 6%.
- Debe existir una diferencia de cota entre la entrada y la salida de agua de 30 cm.
- La distancia del fondo de la zanja con el nivel freático máximo estacional debe ser superior a 1,2 metros.
- Se requieren suelos muy permeables, cuya capacidad de infiltración sea superior a 12 mm/h.

4.6.2.2. Elementos constituyentes

Según el CEDEX [4], los elementos fundamentales de una zanja de infiltración son:

- **Filtro geotextil:** lámina que recubre el fondo y los laterales de la excavación evitando el paso de finos.
- **Filtro de arena:** de unos 15 cm de espesor.
- **Relleno de grava:** con tamaño de partícula entre 40 y 60 mm.
- **Filtro de gravilla:** en la parte superior de la zanja, con un espesor de 5 a 15 mm.
- **Franja de césped:** entre la zanja y la zona impermeable.

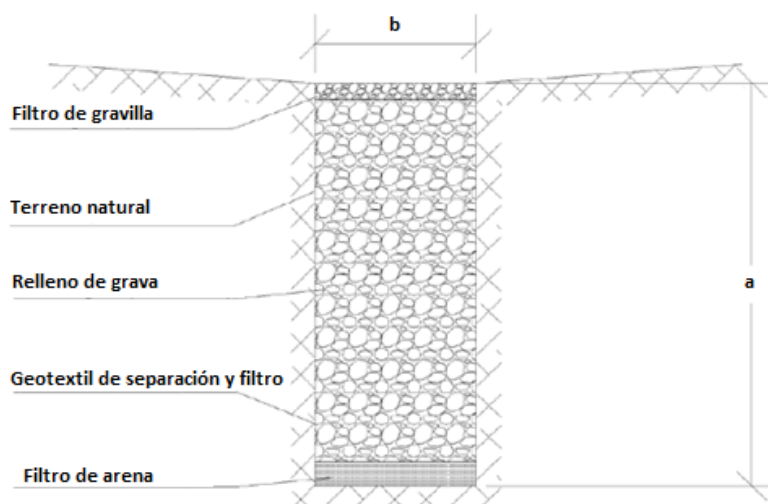


Figura 66. . Sección tipo zanja filtrante proyectada (Fuente: elaboración propia)

4.6.2.3. Materiales

Como ya se ha dicho, el relleno granular normalmente tiene un diámetro de entre 40 y 60 mm. El ratio de los huecos debe ser lo suficientemente alto como para permitir una adecuada la percolación y reducir el riesgo de bloqueos.

El uso de un geotextil debería prevenir la utilización de tuberías en el suelo pero tendría que tener una mayor permeabilidad que la de los terrenos de alrededor. Cuando se utilizan, la capa superior de geotextil proveerá algún grado de pre-tratamiento y debe ser fácilmente separable de las secciones laterales en caso de que necesite de ser sustituida de manera regular.

4.6.2.4. Zanja Filtrante Proyectada

Así, se propone construir una zanja filtrante de 167 metros de longitud, una anchura de 2 metros y una profundidad de 1,75 metros con:

- Pendiente nula.
- Un filtro de gravilla será de 10 cm.
- Capa drenante con relleno de grava será de 150 cm.
- Lámina de geotextil de 100 gr/m².
- Filtro de arena con un espesor de 15 cm.

4.6.3. Diseño del área de biorretención

4.6.3.1. Introducción

Para el diseño del área de biorretención se han utilizado los apuntes sobre diseño de áreas de biorretención del blog de Ana Abellán [1].

En estos sistemas el agua de escorrentía se infiltra en una zona con un terreno muy permeable. La vegetación es la característica principal de este tipo de SUDS puesto que la eficacia del sistema depende de la capacidad de las especies vegetales existentes para mejorar la eliminación de contaminantes en las aguas.

El diseño de un área de biorretención es muy flexible y su dificultad dependerá de las condiciones del lugar de implantación, es decir, de su topografía, el volumen de escorrentía, la geotecnia del terreno, su tamaño, etc.

4.6.3.2. Parámetros de diseño

Durante la etapa de diseño de las áreas de biorretención es necesario tener en cuenta una serie de factores que afectan al funcionamiento del sistema e intentan conseguir que el mejor rendimiento, que el mantenimiento necesario sea el mínimo y que la vida útil sea la más larga posible.

Los aspectos a considerar cuando se diseña un área de biorretención son:

- Las áreas de biorretención deben emplazarse de manera que minimicen el riesgo para la calidad de las aguas subterráneas sin representar ninguna amenaza para los acuíferos subyacentes.
- La biorretención que se acompañe de un proceso de infiltración es más adecuada para las áreas que tienen una tasa de infiltración de, como mínimo, más de 0,65 cm por hora. En situaciones donde la permeabilidad es inferior a ese valor, se pueden aplicar variaciones especiales, como el uso de subsuelos modificados o de drenes subterráneos. O directamente, no emplear esa técnica y usar otra como por ejemplo un humedal artificial.
- Deben ser capaces de drenar toda el agua almacenada en unas 24 horas, por si se repite el evento pluviométrico, que tengan capacidad de tratar esa nueva escorrentía generada.
- El área de diseño ha de ser la suficiente como para almacenar el Volumen de Calidad de Agua con un calado máximo de 15 centímetros.
- Se han de diseñar para tratar la escorrentía de áreas pequeñas, que han de ser como mucho de 5 hectáreas y como mínimo 18 m².
- Las pendientes donde se implanten los sistemas de biorretención han de ser pequeñas (en torno al 5%) pero suficientes como para permitir que la escorrentía se dirija hacia ellos y que luego, el exceso de agua almacenada pueda salir hacia otros sistemas de drenaje. Por eso se suelen usar en parkings y zonas ajardinadas que generalmente tienen pendientes suaves.
- El diseño debe velar por que el área de biorretención sea fácilmente accesible para las labores de mantenimiento.
- Las plantas seleccionadas en el proceso de diseño han de ser autóctonas en la medida de lo posible, ya que han de soportar el régimen hidrológico de la zona, tendrán que tolerar condiciones secas en los bordes y de encharcamiento en la zona baja. Se recomienda elegir una combinación de herbáceas, arbustos y árboles. En los climas áridos, la vegetación escogida ha de ser muy resistente a la sequía.

- La entrada del agua debe ser diseñada para evitar la erosión en el área de biorretención. Algunos ejemplos de entradas que evitan este problema serían: secciones con ensanchamientos, superficies de control de erosión, áreas de césped donde el flujo entra en forma laminar, instalación de rocas en la entrada al área de biorretención que provocan una pérdida de energía en el flujo de agua, secciones en acera que permiten la entrada del flujo en forma laminar o bajantes de edificios directamente conectados al área.
- El área de encharcamiento debe proporcionar suficiente superficie para almacenar el volumen de agua requerido sin exceder la profundidad de encharcamiento de diseño. El lecho de infiltración sub-superficial se utiliza para complementar el almacenamiento superficial cuando sea necesario.
- Las pendientes de las superficies laterales deben ser graduales. En la mayoría de los casos, se recomiendan pendientes de 3:1 máximo.
- La profundidad recomendada de encharcamiento superficial es de 15 centímetros. Pero, si las plantas seleccionadas tienen tolerancia al anegamiento, se pueden alcanzar los 45 cm
- La profundidad de la mezcla de suelo debe estar generalmente entre los 45 y 120 cm si solamente se emplean especies herbáceas. Como mezcla de suelo de biorretención pueden usarse suelos modificados o autóctonos, si cumplen con los requerimientos necesarios para el funcionamiento de la biorretención. En áreas de biorretención pequeñas, “*rain gardens*” se suelen emplear generalmente suelos existentes sin darles una profundidad específica; aunque la mezcla de suelo de biorretención debe ser aproximadamente 10 centímetros más profunda que el alcance de las raíces.
- El suelo de biorretención debe ser capaz de soportar una cubierta vegetal en buen estado, para ello se les debe añadir material orgánico compostado hasta que alcance una proporción de entre un 5 y un 10%. Puede agregarse materia orgánica adicionalmente para aumentar la capacidad de retención de agua.

Unas proporciones recomendadas para alcanzar una mezcla de suelo idónea, serían:

- 20-40% de materia orgánica
- 30-50% de arena
- 20-30% de mantillo
- Cuando se trabaje en superficies con pendientes más pronunciadas, las áreas de biorretención deben estar dispuestas a modo de terrazas para minimizar el movimiento de tierras y prevenir los problemas derivados de la infiltración cuando las pendientes son muy marcadas.
- El lecho de arena debe tener un espesor aproximado entre 20 y 45 centímetros. La arena debe estar limpia y tener menos de un 6% de contenido en limos o arcillas.
- La profundidad del lecho de almacenamiento/infiltración subterráneo, en caso de emplearse, debe ser de 15 cm mínima. Y en su construcción se debe colocar grava limpia, dejando un significativo espacio de huecos (de un 40%) para el almacenamiento de la escorrentía. Además el lecho de gravas ha de estar envuelto en un geotextil.
- En ocasiones puede ser necesario un drenaje subterráneo para la salida del agua. Su existencia dependerá de si el encharcamiento en superficie se puede producir durante más de 48 horas, en cuyo caso sí que habrá que instalarlo. Los drenes han de tener un diámetro de entre 15 y 30 centímetros, consistirán en tubos perforados situados en una zanja de grava limpia envuelta en tela geotextil o en el lecho de almacenamiento/infiltración. Pueden salir a la superficie directamente o estar conectados a un sistema de recogida y transporte de aguas pluviales.

4.6.3.3. Elementos constituyentes

Los elementos fundamentales de un área de biorretención son:

- Pretratamiento previo a la zona de almacenamiento formado por una franja de vegetación o por un canal de césped.
- Zona de almacenamiento del volumen de calidad de agua.
- Capa de mulch (materia orgánica).
- Suelo drenante formado por una capa de relleno de gravas con tamaño de partícula entre 40 y 60 mm.
- Filtro de arena o sistema de drenaje formado por tuberías perforadas hasta la red de alcantarillado.

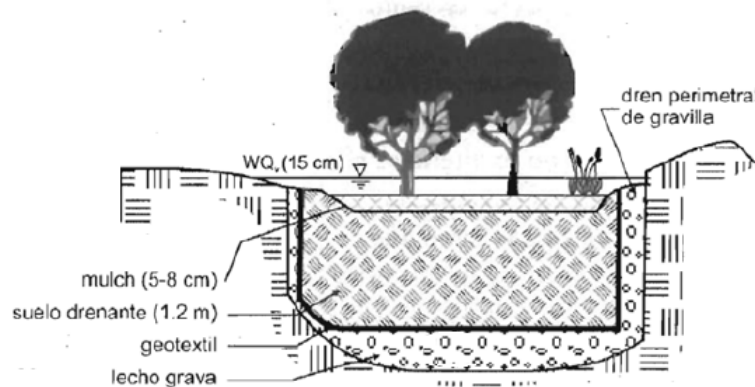


Figura 67. Esquema básico de un área de biorretención (Fuente: sudsostenible.com)

4.6.3.4. Área de biorretención proyectada

Se propone un área de biorretención con un área de 12 x 12 metros con las siguientes características:

- Franja de pretratamiento perimetral de 1,5 metros de ancho y una pendiente lateral de 3:1.
- Capa de césped de 5cm tanto en la franja de pretratamiento con en la zona de almacenamiento.
- Capa de suelo para soportar la cubierta vegetal de 5 cm de espesor.
- Capa de materia orgánica (mulch) de 10 cm de profundidad.
- Relleno de grava para la capa de suelo drenante de 120 cm.
- Geotextil de 100 gr/m².
- Filtro de arena de 20 cm.
- No será necesaria la existencia de dren subterráneo puesto que el encharcamiento en superficie dura menos de 48 horas.

En total la profundidad del área de biorretención será de 1,55 metros y en su superficie se propone la plantación de especies de especies vegetales de la zona, tal y como puede observarse en el presupuesto.

4.7. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

4.7.1. INTRODUCCIÓN

A continuación se detallan los costes estimados de construcción y mantenimiento de las diferentes alternativas propuestas para este estudio.

Es necesario destacar que estas valoraciones económicas no se consideran como un presupuesto definitivo, sino como una valoración inicial de los costes que las diferentes alternativas supondrían de llevarse a cabo su construcción.

Este anexo tiene importancia para la valoración de alternativas ya que los costes económicos suponen el criterio con más peso en las ponderaciones.

4.7.2. COSTES DE LAS ALTERNATIVAS

4.7.2.1. Alternativa 0

Como ya se ha explicado en el Anejo N°8 Estudio de las Alternativas, al no construirse ningún sistema, no será necesario considerar costes de construcción y aunque sí que se tendrían que tener en cuenta los costes de mantenimiento de los sistemas existentes, su valor es notablemente inferior al del resto de alternativas y a la hora de valorarlo comparativamente con el resto de soluciones se omitirá.

4.7.2.2. Alternativa 1

4.7.2.2.1. Pavimento permeable

Pavimento permeable de 200 metros de largo y 46 metros de ancho.

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
1.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	9.20,000	0,18	1.656,00
1.2	m3	Excavación, en vaciado, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos, incluso p.p. de perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	4.600,000	0,9	4.140,00
1.3	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	3.220,000	2,89	9.305,80
1.4	m3	Zahorra drenante ZA20	3.220,000	7,98	25.695,60
1.5	m3	Árido drenante para base (16-20 mm)	460,0000	14,24	6.550,40
1.6	m2	Mezcla bituminosa porosa PA16	18.400,000	10,16	186.944,00

1.7	m2	Geotextil 100 gr/m2	18.400,000	1,35	24.840,00
1.8	m	Bordillo prefabricado de hormigón HM-40 achaflanado, de 10x20 cm de sección, asentado sobre base de hormigón HM-20, incluso p.p. de rejuntado con mortero (1:1). Medida la longitud ejecutada.	492,000	14,00	6.888,00
Total					266.019,80

4.7.2.2.2. Mantenimiento

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
2.1	m2	Mantenimiento SUDS	1	4.738,00	4.738,00
					4.738,00

4.7.2.2.3. Resumen de los costes de la Alternativa 1

Capítulo	Resumen	Importe
1	Pavimento permeable .	266.019,80
2	Mantenimiento anual .	4.738,00
Total		270.757,80

Ascienden los costes a la expresada cantidad de DOSCIENTOS SETENTA MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y SIETE EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS.

4.7.2.3. Alternativa 2

4.7.2.3.1. Pavimento permeable

Pavimento permeable de 68,68 metros de largo y 45 metros de ancho.

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
1.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	3.089,700	0,18	556,15
1.2	m3	Excavación, en vaciado, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos, incluso p.p. de perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	1.544,850	0,9	1.390,37
1.3	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	1.081,395	2,89	3.125,23
1.4	m3	Zahorra drenante ZA20	1.081,395	7,98	8.629,53
1.5	m2	Mezcla bituminosa porosa PA16	6.179,400	10,16	62.782,70
1.6	m2	Geotextil 100 gr/m2	6.179,400	1,35	8.342,19
1.7	m3	Árido drenante para base (16-20 mm)	154,485	14,24	2.199,87
1.8	m	Bordillo prefabricado de hormigón HM-40 achaflanado, de 10x20 cm de sección, asentado sobre base de hormigón HM-20, incluso p.p. de rejuntado con mortero (1:1). Medida la longitud ejecutada.	219,84	14	3.077,76
1.9	u	Arbusto corriente de porte medio, de variado color y vegetación, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	6	16,51	99,06
				Total	90.202,86

4.7.2.3.2. Zanja filtrante

Zanja de infiltración de 167 metros de largo y 2 metros de ancho.

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
2.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos.	350	0,18	63

Medida la superficie en verdadera magnitud.

2.2	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	612,5	2,89	1.770,13
2.3	m3	Zahorra drenante ZA20	501	7,98	3.997,98
2.4	m2	Geotextil 100 gr/m2	334	1,35	450,9
2.5	m3	Árido drenante para base (5-15 mm)	33,4	12,38	413,49
2.6	m3	Árido drenante para filtro de arena	50,1	10,25	513,53
2.7	m2	Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.	334	12,11	4.044,74
				Total	11.253,77

4.7.2.3.3. Área de biorretención

Área de biorretención de 12 metros de ancho y 12 metros de largo.

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
3.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	225	0,18	40,5
3.2	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	450	3,69	1.660,50
3.3	m3	Extendido manual de tierra vegetal cribada suministrada a granel para formación de capa uniforme. Medido el volumen ejecutado.	7,2	17,2	123,84
3.4	m2	Geotextil 100 gr/m2	175,2	1,35	236,52
3.5	m3	Árido drenante para filtro de arena	28,8	10,25	295,2

3.6	m3	Zahorra drenante ZA20	172,8	7,98	1.378,94
3.7	m2	Cubrición antihierba a base de corteza de pino extendida de forma manual, en capa uniforme de 10 cm de espesor, sobre macizo existente, incluido riego de asentamiento, medida la superficie ejecutada.	14,4	5,7	82,08
3.8	m2	Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.	238,8	12,11	2.891,87
3.9	u	Arbusto especial de gran porte, variado de color y vegetación, servido con cepellón de tierra o escayolado, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	4	22,65	90,6
3.10	u	Plantación de Jazminuz fucticans (jazmín blanco), servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	1	16,85	16,85
3.11	u	Plantación de rosal (cualquier variedad) de 40 cm de altura, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo a mano, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	4	11,38	45,52
3.12	u	Grupo de rocallas completas, incluyendo acaves, yucas, cerus, trepadoras, cetaceas, piedras rusticas especiales, distribución, plantación, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	1	200,27	200,27
3.13	u	Plantación de bulbos de agapanto. Medida la cantidad ejecutada	4	1,93	7,72
3.14	u	Árbol de sombra, decorativo especial de hoja caduca de 2,50 m de altura, servido a raíz desnuda, incluso apertura de hoyo de 1x1 m, extracción de tierras, plantación y relleno de tierra vegetal, suministro de abonos, tutor de madera de castaño de 2 m de altura, conservación y riegos. Medida la cantidad ejecutada.	1	43,63	43,63
				Total	7.114,04

4.7.2.3.4. Mantenimiento

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
------	----	-------------	----------	------------	-------------

4.1	m2 Mantenimiento SUDS	1	1.734,88	<u>1.734,88</u>
			Total	1.734,88

4.7.2.3.5. Resumen de los costes de la Alternativa 2

Capítulo	Resumen	Importe
1	Pavimento permeable .	90.202,86
2	Zanja filtrante .	11.253,77
3	Área de biorretención .	7.114,04
4	Mantenimiento anual .	1.734,88
	Total	110.305,55

Ascienden los costes a la expresada cantidad de CIENTO DIEZ MIL TRESCIENTOS CINCO EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

4.7.2.4. Alternativa 3

4.7.2.4.1. Pavimento permeable

Pavimento permeable de 150 metros de largo y 5,5 metros de ancho.

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
1.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	825	0,18	148,5
1.2	m3	Excavación, en vaciado, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos, incluso p.p. de perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	412,5	0,9	371,25
1.3	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	288,75	2,89	834,49
1.4	m3	Zahorra drenante ZA20	288,75	7,98	2.304,23
1.5	m2	Mezcla bituminosa porosa PA16	1.650,000	10,16	16.764,00
1.6	m2	Geotextil 100 gr/m2	1.650,000	1,35	2.227,50
1.7	m3	Árido drenante para base (16-20 mm)	41,25	14,24	587,4
1.8	m	Bordillo prefabricado de hormigón HM-40 achaflanado, de 10x20 cm de sección, asentado sobre base de hormigón HM-20, incluso p.p. de rejuntado con mortero (1:1). Medida la longitud ejecutada.	150	14	2.100,00
				Total	25.337,37

4.7.2.4.2. Zanja filtrante

Zanja de infiltración de 85 metros de largo y 2 metros de ancho.

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
2.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	170	0,18	30,6

2.2	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	297,5	2,89	859,78
2.3	m3	Zahorra drenante ZA20	255	7,98	2.034,90
2.4	m2	Geotextil 100 gr/m2	170	1,35	229,5
2.5	m3	Árido drenante para base (5-15 mm)	17	12,38	210,46
2.6	m3	Árido drenante para filtro de arena	25,5	10,25	261,38
2.7	m2	Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.	170	12,11	2.058,70
				Total	5.685,32

4.7.2.4.3. Área de biorretención

Área de biorretención de 20 metros de largo y 20 metros de ancho.

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
3.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	400	0,18	72
3.2	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad de 3m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	800	3,69	2.952,00
3.3	m3	Extendido manual de tierra vegetal cribada suministrada a granel para formación de capa uniforme. Medido el volumen ejecutado.	20	17,2	344
3.4	m2	Geotextil 100 gr/m2	452	1,35	610,2
3.5	m3	Árido drenante para filtro de arena	80	10,25	820

3.6	m3	Zahorra drenante ZA20	480	7,98	3.830,40
3.7	m2	Cubrición antihierba a base de corteza de pino extendida de forma manual, en capa uniforme de 10 cm de espesor, sobre macizo existente, incluido riego de asentamiento, medida la superficie ejecutada.	40	5,7	228
3.8	m2	Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.	526,4	12,11	6.374,70
3.9	u	Arbusto especial de gran porte, variado de color y vegetación, servido con cepellón de tierra o escayolado, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	10	22,65	226,5
3.10	u	Plantación de Jazminuz fucticans (jazmín blanco), servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	2	16,85	33,7
3.11	u	Plantación de rosal (cualquier variedad) de 40 cm de altura, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo a mano, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	8	11,38	91,04
3.12	u	Grupo de rocallas completas, incluyendo acaves, yucas, cerus, trepadoras, cetáceas, piedras rusticas especiales, distribución, plantación, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	3	200,27	600,81
3.13	u	Plantación de bulbos de agapanto. Medida la cantidad ejecutada	8	1,93	15,44
3.14	u	Árbol de sombra, decorativo especial de hoja caduca de 2,50 m de altura, servido a raíz desnuda, incluso apertura de hoyo de 1x1 m, extracción de tierras, plantación y relleno de tierra vegetal, suministro de abonos, tutor de madera de castaño de 2 m de altura, conservación y riegos. Medida la cantidad ejecutada.	2	43,63	87,26
				Total	16.286,05

4.7.2.4.4. Depósito de infiltración

Depósito de infiltración de 10 metros de ancho y 10 metros de largo. Formado por 1680 módulos de drenaje tipo D-Raintank (Matrix) de la compañía Atlantis (0.45 m alto x 0.408 m ancho x 0.68 m largo).

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
4.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	100	0,18	18
4.2	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad de 3m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	300	3,69	1.107,00
4.3	m3	Extendido manual de tierra vegetal cribada suministrada a granel para formación de capa uniforme. Medido el volumen ejecutado.	5	17,2	86
4.4	m	Canalización de PVC con tubería reforzada SN4 teja de 110 mm de diámetro, incluso formación de pendientes con puntos de hormigón, envoltura de arena con un espesor de 15 cm y p.p. de piezas especiales y adhesivos. Medida la longitud entre ejes de arquetas	12	11,28	135,36
4.5	u	Arqueta de reparto de 63x63 cm y 1 m de profundidad, formada por: solera de hormigón HM-20, de 15 cm, fábrica de ladrillo perforado de 1 pie, enfoscada y bruñida por el interior, tapa de hormigón armado HM-20 y patés de acero galvanizado, incluso excavación y relleno. Medida la cantidad ejecutada.	1	305,81	305,81
4.6	m2	Geotextil 100 gr/m2	100	1,35	135
4.7	m3	Zahorra drenante ZA20	50	7,98	399
4.8	m3	Arena compactada	50	14,13	706,5
4.9	m2	Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.	100	12,11	1.211,00
4.10	ud	Módulos de drenaje tipo D-Raintank (Matrix) Atlantis	1.680,000	41,01	<u>68.896,80</u>
				Total	73.000,47

4.7.2.4.5. Dren filtrante

Dren filtrante de 10 metros de largo y 1 metro de ancho.

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
5.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	10	0,18	1,8
5.2	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	10	2,89	28,9
5.3	m3	Extendido manual de tierra vegetal cribada suministrada a granel para formación de capa uniforme. Medido el volumen ejecutado.	0,5	17,2	8,6
5.4	m2	Geotextil 100 gr/m2	30	1,35	40,5
5.5	m3	Zahorra drenante ZA20	10	7,98	79,8
5.6	m2	Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.	10	12,11	121,1
5.7	m	Canalización de PVC con tubería reforzada SN4 teja de 110 mm de diámetro, incluso formación de pendientes con puntos de hormigón, envoltura de arena con un espesor de 15 cm y p.p. de piezas especiales y adhesivos. Medida la longitud entre ejes de arquetas.	10	11,28	112,8
				Total	393,5

4.7.2.4.6. Mantenimiento

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
6.1	m2	Mantenimiento SUDS	1	660,33	660,33
				Total	660,33

4.7.2.4.7. Resumen de los costes de la Alternativa 3

Capítulo	Resumen	Importe
1	Pavimento permeable	25.337,37
2	Zanja filtrante	5.685,32
3	Área de biorretención	16.286,05
4	Depósito de infiltración	73.000,47
5	Dren filtrante	393,5
6	Mantenimiento anual	660,33
Presupuesto de ejecución material		121.363,04

Ascienden los costes a la expresada cantidad de CIENTO VEINTIÚN MIL TRESCENTOS SESENTA Y TRES EUROS CON CUATRO CÉNTIMOS.

5 CONCLUSIONES

5.1. RESUMEN

Para finalizar este Trabajo Fin de Máster se resumen los puntos más destacados que se han alcanzado en la realización del estudio de las diferentes alternativas consideradas.

Los diferentes criterios para la elección de la alternativa más adecuada han tenido diferentes pesos durante el análisis que se ha realizado. Sin duda, el criterio económico es uno de los más importantes a tener en cuenta, puesto que a la hora de escoger entre una opción u otra, que una alternativa tenga un mayor coste económico supone un desembolso mayor, y por lo tanto, esto repercutirá negativamente a la hora de ser seleccionada como la más adecuada.

Como se puede observar, la alternativa 0 es la más barata de todas, pero su elección supone la no construcción de SUDS, lo cual no es el objetivo final de este proyecto y por ello es la alternativa 2 la escogida como económicamente más rentable. Obviamente, en caso de disponer del presupuesto, lo adecuado sería llevar a cabo la implementación del mayor número SUDS posibles, caso de la alternativa 3, ya que esto significaría aplicar sus beneficios de manera general, no solo en algunas zonas, pero esta opción es un 10% más costosa que la 2 y por lo tanto su valoración dentro de los criterios económicos tiene que ser peor. El coste de la alternativa 1 es un 145% más elevado que el de la alternativa 2, y considerando que esto puede resultar un gasto excesivo para la universidad, se descarta como la más ventajosa en lo que a los criterios económicos se refiere.

Otro de los criterios que más peso tienen es el medioambiental. Uno de los principales motivos por los que los SUDS resultan una técnica de drenaje urbano muy recomendable recae en que su construcción supone una reducción del impacto sobre el medio ambiente en comparación con los sistemas tradicionales. Se urbaniza o rehabilitan áreas según una serie de criterios de gestión del agua y la vegetación que permitan crear ambientes naturales y agradables dentro de la ciudad al tiempo que se disminuye el riesgo de que se produzcan inundaciones. Estos sistemas poseen la capacidad de proporcionar calidad al hábitat receptor de las cargas de agua, proporcionan una mejora de la biodiversidad de especies vegetales y animales, reducen la contaminación de las aguas y mejoran paisajísticamente el área de aplicación al aumentar el número de zonas verdes. También es de vital importancia tener en cuenta la capacidad depuradora de los sistemas a implantar, puesto que debe asegurarse que el agua vertida directamente al cauce y el agua reutilizada no posean contaminantes que pongan en peligro la salud.

Por todo esto, la alternativa más ventajosa sería la 3 puesto que al existir un mayor número de SUDS, repartidos en diferentes zonas del campus, los objetivos medioambientales que se buscan conseguir serán mayores. De la misma manera, la alternativa 0 es la peor, ya que si no existe ningún sistema no se reduce la contaminación, ni se aumenta el número de zonas verdes, etc. La alternativa 2 también es considerada ventajosa, puesto que aunque el número de SUDS a implantar es menor, la superficie cubierta por ellos es bastante grande y se propone la introducción de nuevas especies vegetales aumentando así el número de zonas verdes y, por lo tanto, cumplen las expectativas necesarias. La alternativa 1, aunque si bien es cierto que se trata de un pavimento permeable de gran superficie y, por tanto, el volumen de agua a tratar será bastante grande, no propone introducción de ninguna zona verde ni mejora paisajísticamente el campus por lo que ha sido elegida como la alternativa menos atractiva de las soluciones que proponen construcción de SUDS.

En lo que respecta al resto de criterios, la alternativa 2 es la más adecuada tanto técnicamente como socialmente. Esta opción supone la opción más factible desde el punto de vista de la construcción, puesto que la geotecnia de las zonas de aplicación es muy favorable y además no existe vegetación que pueda suponer un impedimento en la construcción. Desde un punto de vista social, al no suponer ningún gran obstáculo para el tránsito de los estudiantes y trabajadores, no disminuir la cantidad de aparcamientos existentes y además de incluir espacios visualmente atractivos, se ha considerado la mejor opción posible. El resto de alternativas no proporcionan tantas ventajas como la alternativa 2 y por lo tanto por eso han sido peor valoradas.

En resumidas cuentas, una vez valorado todo y realizado el análisis multicriterio, ha quedado demostrado que

la alternativa 2 puede considerarse la más adecuada, seguida muy de cerca por la alternativa 3. Además, en este proyecto ha quedado demostradas las ventajas que supone el empleo de técnicas de drenaje sostenible para el tratamiento de la escorrentía urbana en relación con las ya conocidas redes de saneamiento habituales.

5.2. CONCLUSIÓN FINAL

Como conclusión principal, se debe destacar que la implantación de sistemas urbanos de drenaje sostenible en el Campus de Rabanales supone un gran avance en las técnicas de control de la escorrentía de lluvia y sobre todo para eventos extraordinarios donde la capacidad de los sistemas tradicionales es insuficiente.

Con estas técnicas logramos no solo eliminar el riesgo que supone la escorrentía urbana sino que, además, existe la posibilidad de utilizar el agua de lluvia almacenada para otros usos como riegos o limpieza de las calles, entre otros.

Tras el estudio de los diferentes sistemas de drenaje diseñados en la alternativa escogida, se han sacado algunas particulares:

- Se ha tenido que tener especial atención a la hora de realizar el diseño la facilidad de espacio destinado a los SUDS y el régimen de precipitaciones de la zona, puesto de que de este último dependerá el caudal que se ha de filtrar.
- Como se puede observar en el presupuesto, son sistemas relativamente más baratos de implantar que los sistemas tradicionales. Además se trata de sistemas de fácil implantación en zonas donde el espacio puede estar no lo suficientemente aprovechado o donde puede realizarse más de una función, como los aparcamientos con firme permeable, y donde un gran volumen de agua puede ser tratado

5.3. PROPUESTAS PARA OTRAS LÍNEAS DE TRABAJO

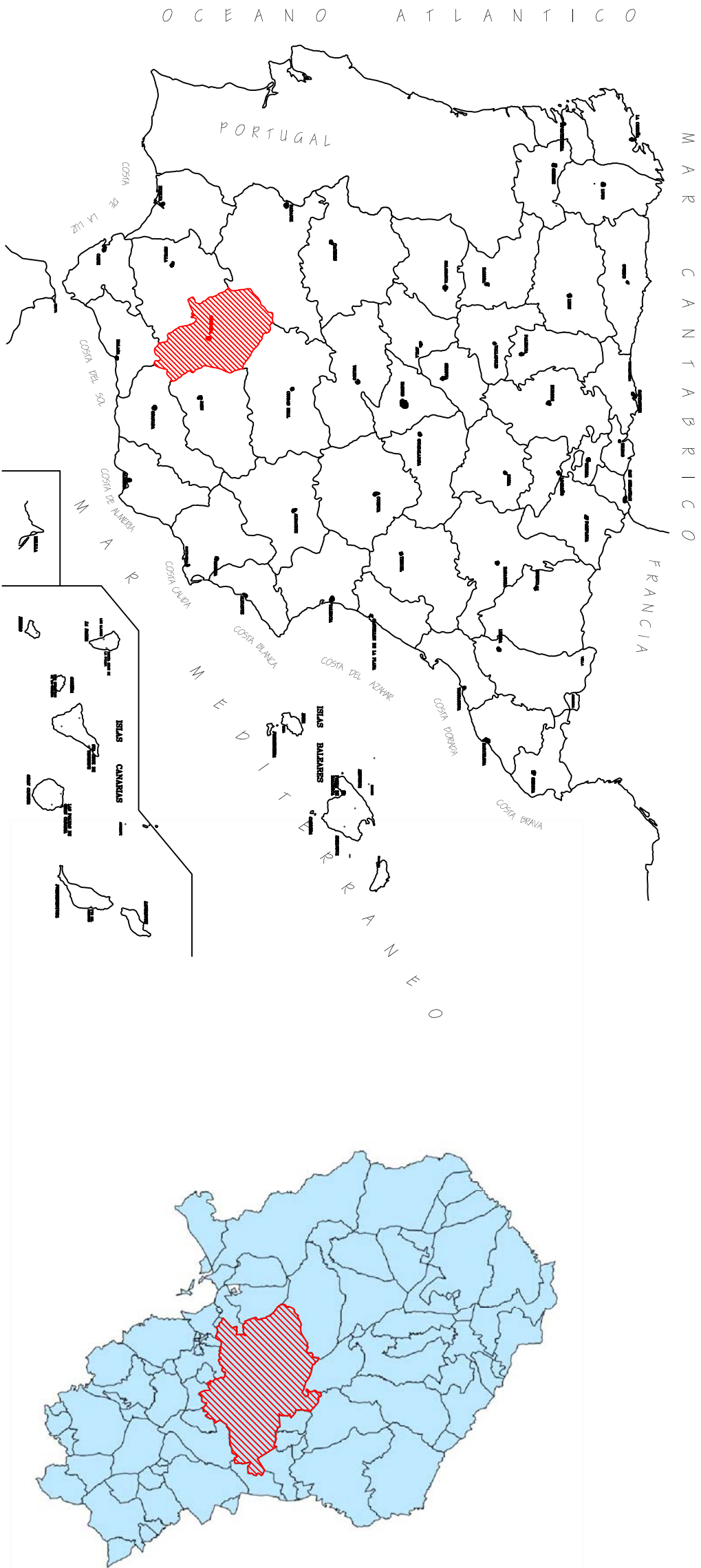
Una vez terminado este estudio y habiendo investigado en profundidad tanto los SUDS existentes en la actualidad como las normativas y guías disponibles para su diseño y construcción sería interesante ampliar este trabajo en un futuro con las siguientes líneas de trabajo:



- Realizar instrucciones y guías para el diseño de SUDS a nivel nacional o europeo, de manera que el diseño de estos sistemas resulte unificado para todos los países de la Unión Europea y no haya que recurrir a normativas extranjeras o guías elaboradas para países con climas diferentes al nuestro.
- Investigar posibles soluciones con SUDS para el tratamiento de las aguas negras. Hoy en día solo existe la aplicación de estos sistemas para el tratamiento de aguas de escorrentía pero podría plantearse la investigación hacia algún tipo de solución para este tipo de aguas.
- Realizar un estudio del coste de mantenimiento de los SUDS. Durante la realización de este estudio ha sido muy difícil encontrar los costes de mantenimiento de estos sistemas puesto que al ser relativamente novedosos y estar muy poco implantados en nuestro país, hay muy poca experiencia. Por ello, el estudio del coste que supone mantener cada tipo de sistema en una situación óptima de funcionamiento puede ser de gran ayuda para futuros estudios o proyectos.
- Estudiar la implementación de los SUDS en áreas más extensas que las actuales. Por ejemplo, analizar si sería posible la aplicación de estos sistemas en pueblos pequeños o urbanizaciones para que sustituyan en su totalidad a los sistemas de drenaje actuales (en redes separativas).

BIBLIOGRAFÍA

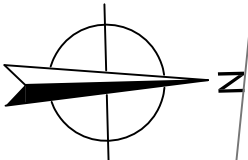
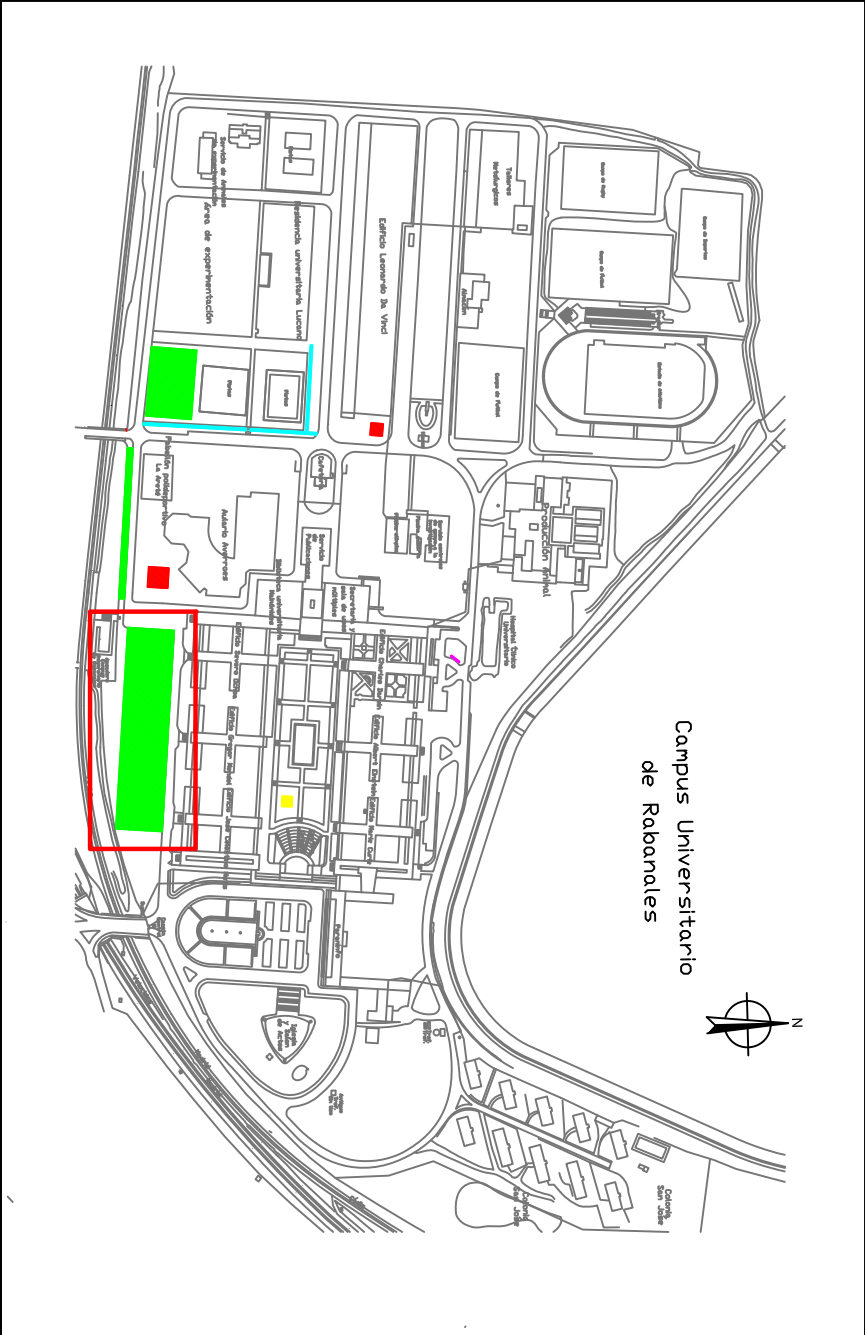
- [1] Abellán García, A. I. (s.f.). *Drenaje Urbano Sostenible*. Obtenido de <http://drenajeurbanosostenible.org>
- [2] AEMET (2017). *Agencia Estatal de Meteorología*. Obtenido de <http://www.aemet.es/>
- [3] CEDEX (1999). *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras.
- [4] CEDEX (2008). *Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*. Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos. ISBN 978-84-7790-475-5.
- [5] CIRIA. (2002). *Source control using constructed pervious surfaces*. London.
- [6] CIRIA C609. (2004). *Sustainable Drainage Systems. Hydraulic, structural and Water Quality Advice*.
- [7] Daywater. (2003). *Review of the Use of Stormwater BMPs in Europe*. Dolors, F. D., Perales Mompalmer, S., & Soto Fernández, R. (s.f.)
- [8] Ferguson, B. K. (2005). *Porous Pavements*
- [9] Haba, E. G. (2011). *Trabajo Fin de Máster: CONTROL DE ESCORRENTÍAS URBANAS MEDIANTE PAVIMENTOS PERMEABLES, APLICACIÓN EN CLIMAS MEDITERRÁNEOS*. Valencia.
- [10] Informe geotécnico Rabanales, Córdoba. Instituto Geológico y Minero de España.
- [11] Juan Agüero Lanza (2014). Trabajo Fin de Grado. *ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE APARCAMIENTOS DE FIRMES PERMEABLES EN LA UC*. Cantabria
- [12] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2009). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)*.
- [13] Norma 5.2- Instrucción de Drenaje Superficial.. Ministerio de Fomento.
- [14] Perales Mompalmer, S. (2008). *Ponencia "Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)" de Expo Zaragoza 2008*
- [15] Perales Mompalmer, S. (2010). *Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS)*. Obtenido de Casos Prácticos en España y Proyecto AQUAVAL (Life+08)
- [16] Rodríguez Hernández (2008). Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero. Tesis doctoral de la Universidad de Cantabria.
- [17] Woods-Ballard *et al.*, (2007). "The SUDS Manual" CIRIA C697. London

ANEJO 1 PLANOS



	<p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla</p>	<p>LOCALIZACIÓN</p>		<p>Autor: Lidia Pérez Sánchez</p> <p>Título: Estudio para la construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el Campus de Rabanales en Córdoba</p>	<p>Fecha: Octubre 2017</p> <p>Firma: </p>	<p>Escala: Escala gráfica</p>	<p>Plano n.º 1</p>	<p>Hoja n.º 1 / 1</p>
--	--	---------------------	--	---	---	-------------------------------	--------------------	-----------------------

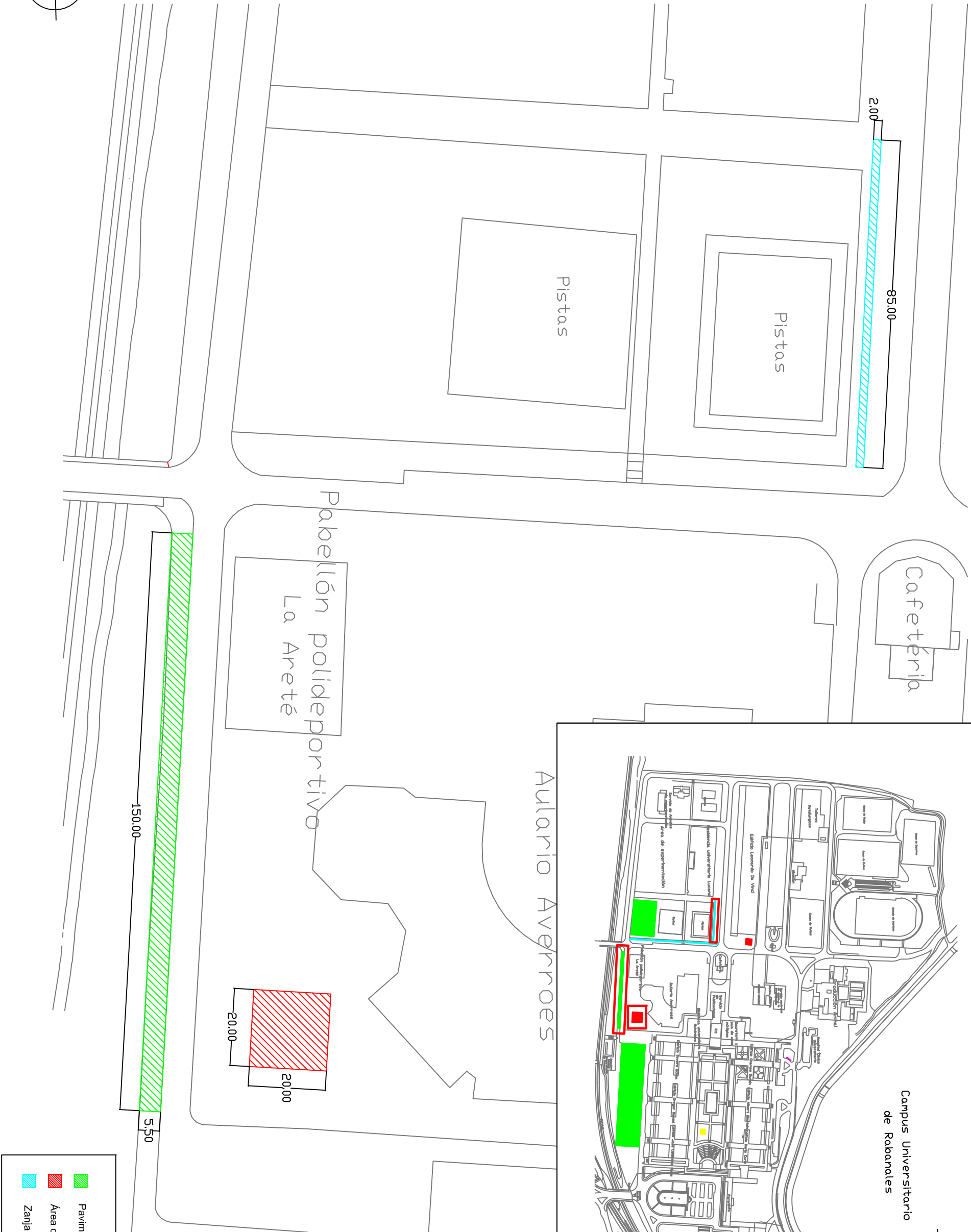
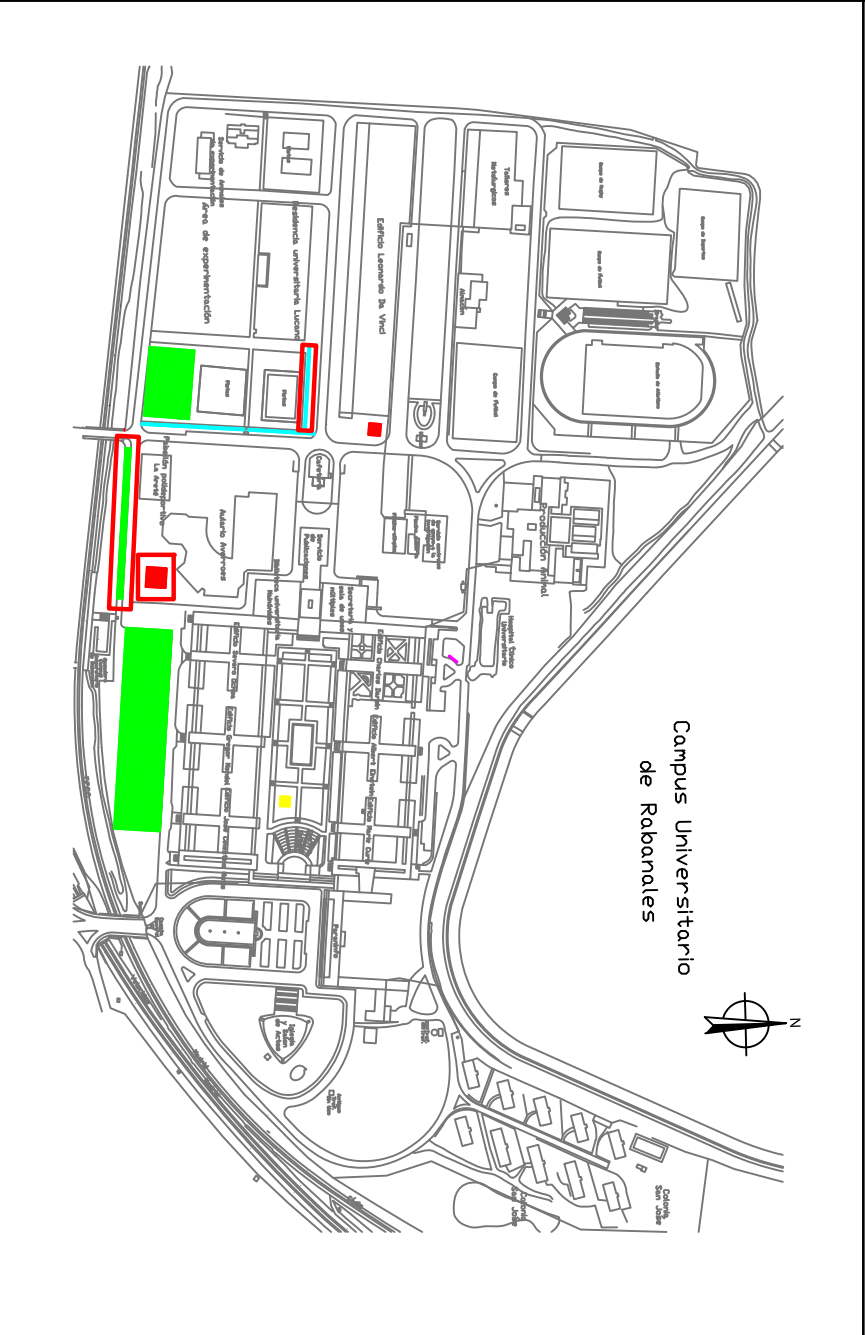




LEYENDA

Pavimento permeable

	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla		SUDS ALTERNATIVA 1		Autor		Lidia Pérez Sánchez		Fecha: Octubre 2017		Escala: 1/1000		Plano n° 3		Hoja n° 1/1	
	Título		Estudio para la construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el Campus de Rabanales en Córdoba		Firma:											

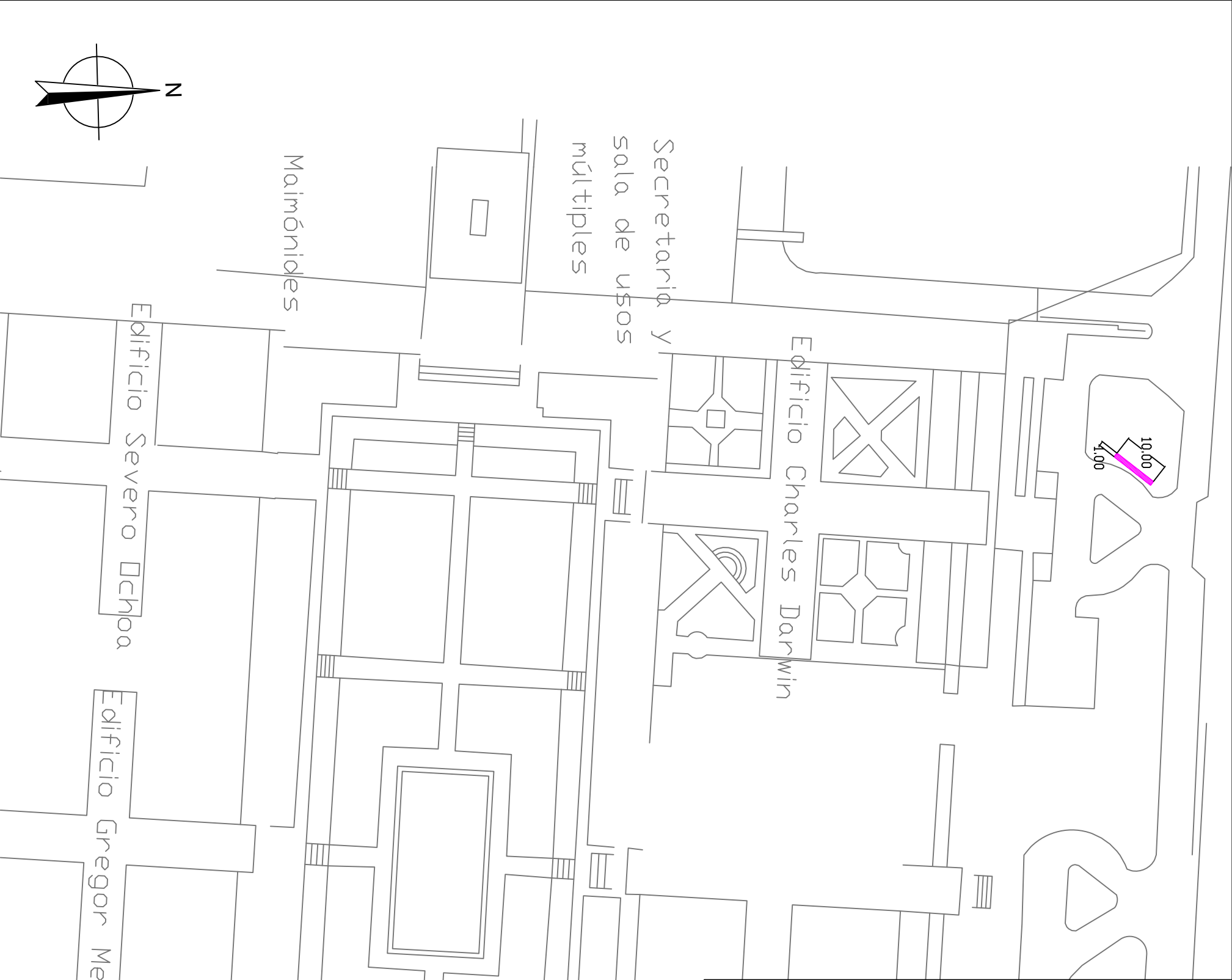
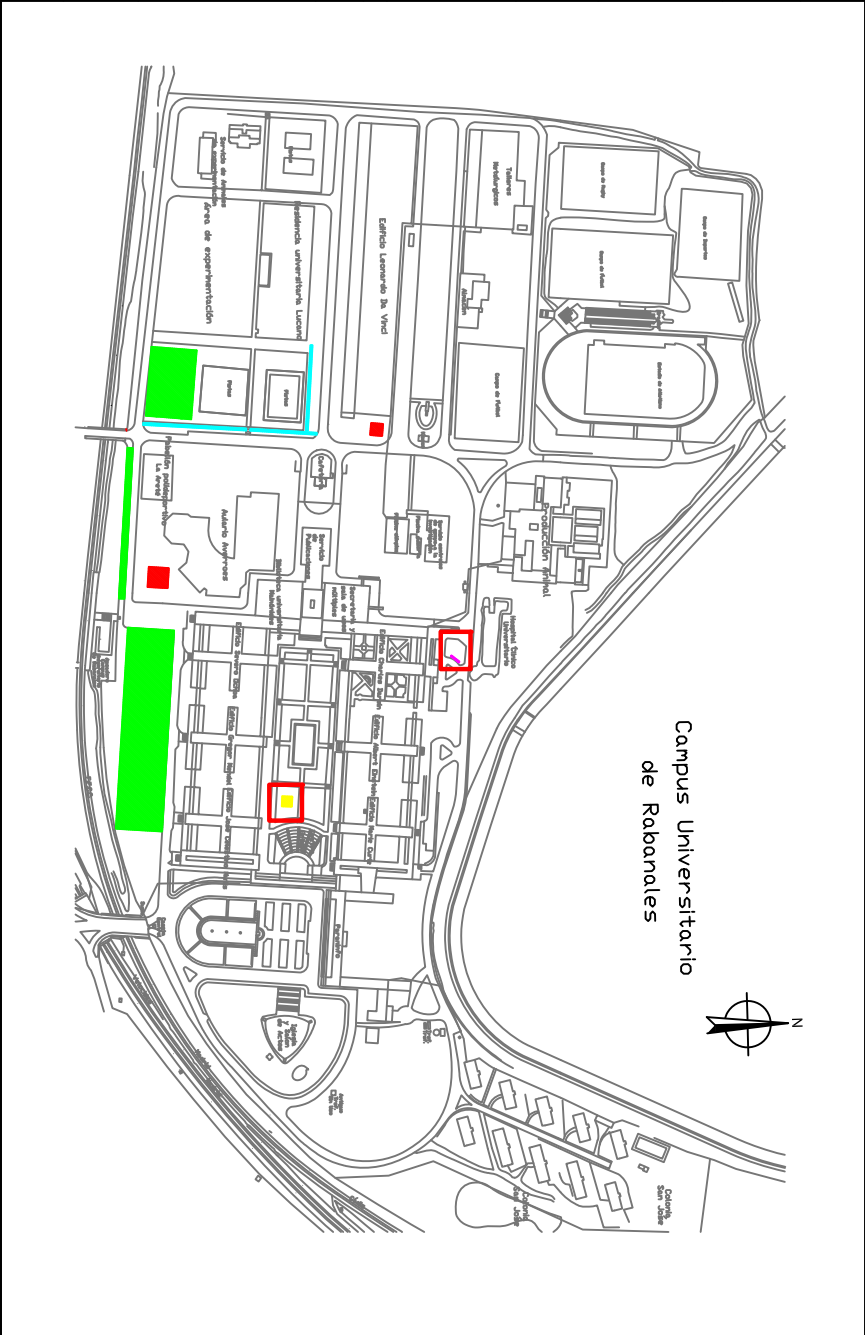


LEYENDA

Pavimento permeable

Área de biorretención

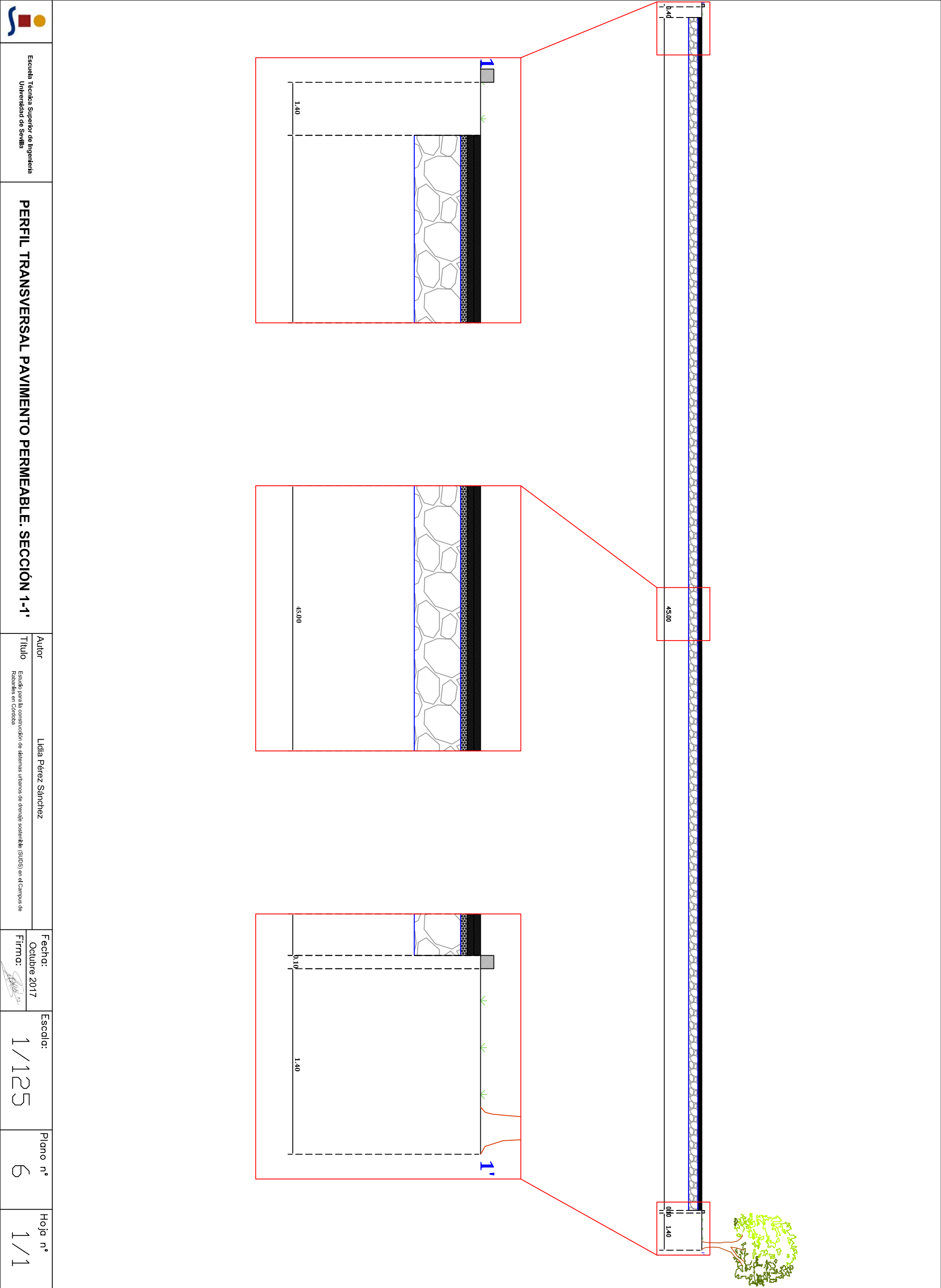
Zanja de infiltración

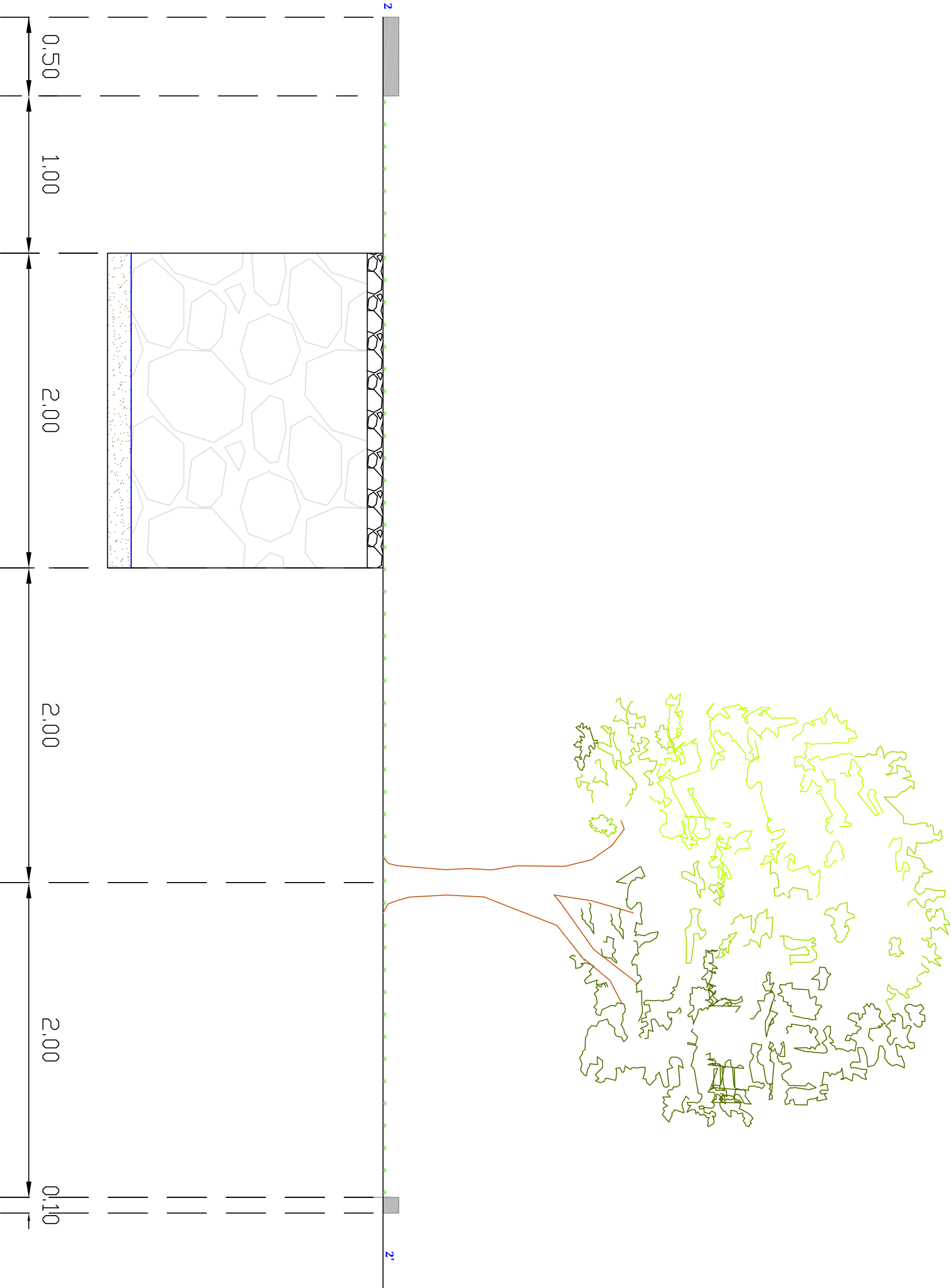


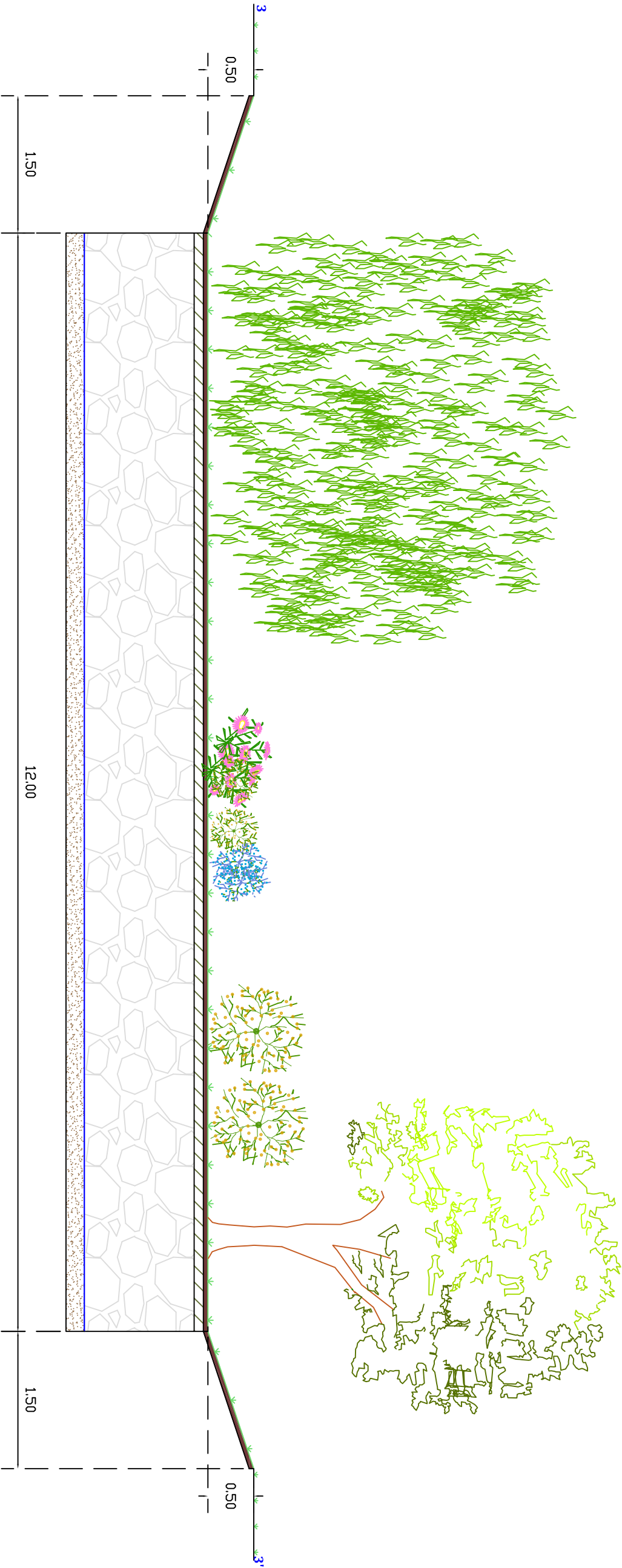
LEYENDA

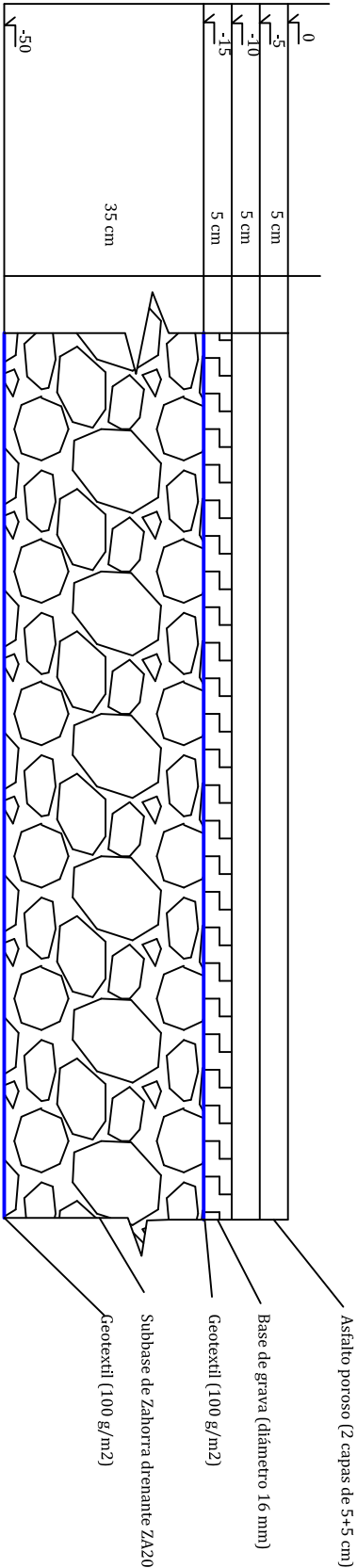
Dren filtrante

Depósito de infiltración

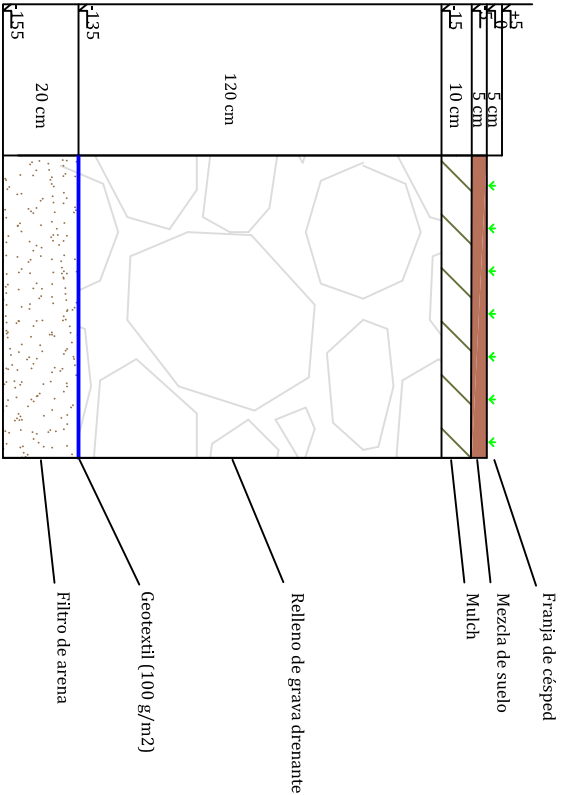




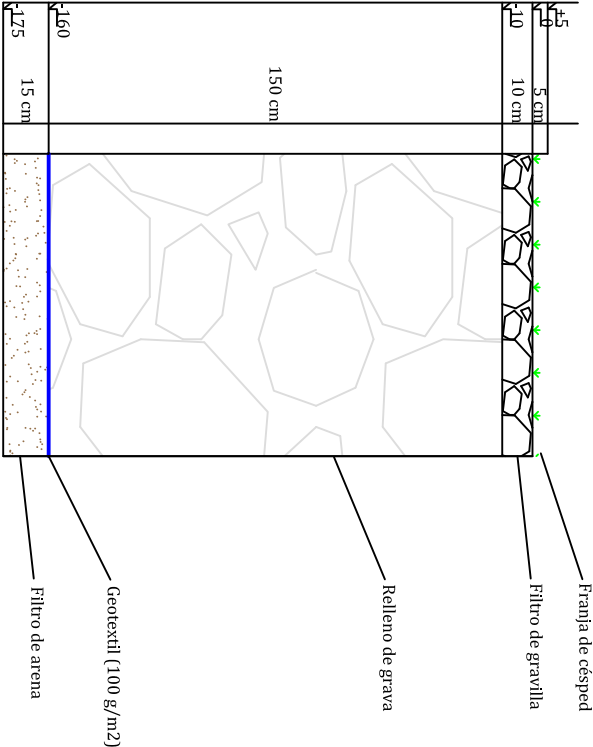




PAVIMENTO PERMEABLE



ÁREA DE BIORRETENCIÓN



ZANJA FILTRANTE

ANEJO 2 PRESUPUESTO

1. MEDICIONES

1. Movimiento de tierras

Nº	Ud	Descripción					Medición	
1.1	M2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Área del aparcamiento		68,660	45,000		3.089,70 0	
		Área de la zanja		175,000	2,000	1,750	350,000	
		Área de biorretención		15,000	15,000		225,000	
							3.664,70 0	3.664,700
			Total m2:					3.664,700
1.2	M3	Excavación, en vaciado, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos, incluso p.p. de perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Volumen excavado del aparcamiento		68,660	45,000	0,500	1.544,85 0	
							1.544,85 0	1.544,850
			Total m3:					1.544,850
1.3	M3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Volumen excavación de la zanja filtrante		175,000	2,000	1,750	612,500	
		Volumen excavación del área de biorretención		15,000	15,000	2,000	450,000	
							1.062,50 0	1.062,500
			Total m3:					1.062,500

2. Pavimento permeable

Nº	Ud	Descripción				Medición
2.1	M3	Zahorra drenante ZA20				
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial Subtotal
		Volumen de zahorra drenante	68,660	45,000	0,350	1.081,395
						5
						1.081,395
						5
						Total m3: 1.081,395
2.2	M2	Mezcla bituminosa porosa PA16				
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial Subtotal
		Área de asfalto poroso (2 capas)	2	68,660	45,000	6.179,400
						0
						6.179,400
						0
						Total m2: 6.179,400
2.3	M2	Geotextil 100 gr/m2				
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial Subtotal
		Área geotextil	2	68,660	45,000	6.179,400
						0
						6.179,400
						0
						Total m2: 6.179,400
2.4	M3	Árido drenante para base (16-20 mm)				
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial Subtotal
		Volumen de gravilla para la base	68,660	45,000	0,050	154,485
						154,485
						154,485
						Total m3: 154,485
2.5	M	Bordillo prefabricado de hormigón HM-40 achaflanado, de 10x20 cm de sección, asentado sobre base de hormigón HM-20, incluso p.p. de rejuntado con mortero (1:1). Medida la longitud ejecutada.				
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial Subtotal
		Perímetro de bordillo	129,840	90,000		219,840
						219,840
						219,840
						Total m: 219,840

- 2.6 U Arbusto corriente de porte medio, de variado color y vegetación, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.**

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Arbustos	6				6,000	
					<u>6,000</u>	6,000
Total u:						6,000

3. Zanja filtrante

N° Ud Descripción Medición

3.1 M3 Zahorra drenante ZA20

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Volumen de zahorra drenante		167,000	2,000	1,500	501,000	
					<u>501,000</u>	501,000
Total m3:						501,000

3.2 M3 Árido drenante para base (5-15 mm)

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Volumen de gravilla para la base		167,000	2,000	0,100	33,400	
					<u>33,400</u>	33,400
Total m3:						33,400

3.3 M3 Árido drenante para filtro de arena

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Volumen del filtro de arena		167,000	2,000	0,150	50,100	
					<u>50,100</u>	50,100
Total m3:						50,100

3.4 M2 Geotextil 100 gr/m2

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Área geotextil		167,000	2,000		334,000	
					<u>334,000</u>	334,000
Total m2:						334,000

3.5 M2 Suministro de *stenotaphrum* y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Área zanja con césped		167,000	2,000		334,000	
					<u>334,000</u>	334,000
Total m2:						334,000

4. Área de biorretención

Nº Ud	Descripción	Medición				
-------	-------------	----------	--	--	--	--

4.1 M3 Extendido manual de tierra vegetal cribada suministrada a granel para formación de capa uniforme. Medido el volumen ejecutado.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Volumen tierra vegetal del área de biorretención		12,000	12,000	0,050	7,200	
					<u>7,200</u>	7,200
Total m3:						7,200

4.2 M2 Cubrición antihierba a base de corteza de pino extendida de forma manual, en capa uniforme de 10 cm de espesor, sobre macizo existente, incluido riego de asentamiento, medida la superficie ejecutada.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Área de biorretención		12,000	12,000	0,100	14,400	
					<u>14,400</u>	14,400
Total m2:						14,400

4.3 M3 Zahorra drenante ZA20

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Volumen de zahorra drenante		12,000	12,000	1,200	172,800	
					<u>172,800</u>	172,800
Total m3:						172,800

4.4 M3 Árido drenante para filtro de arena

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Volumen del filtro de arena		12,000	12,000	0,200	28,800	
					<u>28,800</u>	28,800
Total m3:						28,800

4.5 M2 Geotextil 100 gr/m2

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Área de la base de geotextil zona de biorretención		12,000	12,000		144,000	
Área de las paredes de geotextil zona de biorretención	2	12,000		1,300	31,200	
					<u>175,200</u>	<u>175,200</u>
Total m2:						175,200

4.6 M2 Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un cespced permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Área céspced zona de entrada	4	1,580	15,000		94,800	
Área céspced zona de acumulación		12,000	12,000		144,000	
					<u>238,800</u>	<u>238,800</u>
Total m2:						238,800

4.7 U Arbusto especial de gran porte, variado de color y vegetación, servido con cepellón de tierra o escayolado, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos. riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Arbusto	4				4,000	
					<u>4,000</u>	<u>4,000</u>
Total u:						4,000

4.8 U Plantación de Jazminuz fucticans (jazmín blanco), servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Jazmin	1				1,000	
					<u>1,000</u>	<u>1,000</u>
Total u:						1,000

4.9 U Plantación de rosal (cualquier variedad) de 40 cm de altura, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo a mano, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.

	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Rosales	4				4,000	
					<u>4,000</u>	<u>4,000</u>

						Total u:	4,000
4.10	U	Grupo de rocallas completas, incluyendo acaves, yucas, cerus, trepadoras, cetaceas, piedras rusticas especiales, distribución, plantación, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.					
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Grupo de rocallas		1				1,000	
						<u>1,000</u>	<i>1,000</i>
						Total u:	1,000
4.11	U	Plantación de bulbos de agapanto. Medida la cantidad ejecutada					
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Bulbos de agapanto		4				4,000	
						<u>4,000</u>	<i>4,000</i>
						Total u:	4,000
4.12	U	Árbol de sombra, decorativo especial de hoja caduca de 2,50 m de altura, servido a raíz desnuda, incluso apertura de hoyo de 1x1 m, extracción de tierras, plantación y relleno de tierra vegetal, suministro de abonos, tutor de madera de castaño de 2 m de altura, conservación y riegos. Medida la cantidad ejecutada.					
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
Árbol hoja caduca		1				1,000	
						<u>1,000</u>	<i>1,000</i>
						Total u:	1,000

2. CUADRO DE PRECIOS

Cuadro de precios nº 2					
Nº	Designación			Importe	
				Parcial (euros)	Total (euros)
1.1	m2 Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.				
	(Mano de obra)				
	PEÓN ESPECIAL	0,003 h	18,28	0,05	
	(Maquinaria)				
	PALA CARGADORA	0,005 h	23,87	0,12	
	3% Costes indirectos			0,01	
					0,18
1.2	m3 Excavación, en vaciado, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos, incluso p.p. de perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.				
	(Mano de obra)				
	PEÓN ESPECIAL	0,013 h	18,28	0,24	
	(Maquinaria)				
	RETROEXCAVADORA	0,018 h	34,98	0,63	
	3% Costes indirectos			0,03	
					0,9
1.3	m3 Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.				
	(Mano de obra)				
	PEÓN ESPECIAL	0,1 h	18,28	1,83	
	(Maquinaria)				
	RETROEXCAVADORA	0,028 h	34,98	0,98	
	3% Costes indirectos			0,08	
					2,89
2.1	2 Pavimento permeable				
	m3 Zahorra drenante ZA20				
	(Mano de obra)				
	OFICIAL 1ª	0,03 h	19,23	0,58	
	PEÓN ESPECIAL	0,015 h	18,28	0,27	
	(Maquinaria)				
	PALA CARGADORA	0,015 h	23,87	0,36	
	RULO VIBRATORIO	0,015 h	23,28	0,35	
	(Materiales)				
	ZAHORRA ARTIFICIAL ZA20	1 m	6,19	6,19	
		3			
	3% Costes indirectos			0,23	

2.2	m2 Mezcla bituminosa porosa PA16 (Mano de obra) OFICIAL 1ª PEÓN ESPECIAL (Maquinaria) BITUMINADORA/EXTENDEDORA Compactador de neumáticos RULO VIBRATORIO (Materiales) Mezcla bituminosa continua en caliente 3% Costes indirectos	0,003 h 0,007 h 0,001 h 0,001 h 0,001 h 0,184 m 2	19,23 18,28 134,6 58,69 23,28 51,4	0,06 0,13 0,13 0,06 0,02 9,46 0,3	7,98
2.3	m2 Geotextil 100 gr/m2 (Mano de obra) OFICIAL 1ª PEÓN ESPECIAL (Materiales) TEJIDO GEOTEXTIL ANTIPUNZONAMIENTO 100 gr/m2 3% Costes indirectos	0,002 h 0,02 h 1 m 2	19,23 18,28 0,9	0,04 0,37 0,9 0,04	10,16
2.4	m3 Árido drenante para base (16-20 mm) (Mano de obra) OFICIAL 1ª PEÓN ESPECIAL (Maquinaria) PALA CARGADORA RULO VIBRATORIO (Materiales) GRAVA DIÁM. 16/32 mm 3% Costes indirectos	0,03 h 0,015 h 0,015 h 0,015 h 1,7 m 3	19,23 18,28 23,87 23,28 7,22	0,58 0,27 0,36 0,35 12,27 0,41	1,35
2.5	m Bordillo prefabricado de hormigón HM-40 achaflanado, de 10x20 cm de sección, asentado sobre base de hormigón HM-20, incluso p.p. de rejuntado con mortero (1:1). Medida la longitud ejecutada. (Mano de obra) OF. 1ª ALBAÑILERÍA PEÓN ESPECIAL (Materiales) ARENA FINA HORMIGÓN HM-20/P/40/I, SUMINISTRADO	0,15 h 0,305 h 0,004 m 3 0,054 m 3	19,23 18,28 8,39 54,45	2,88 5,58 0,03 2,94	14,24

	CEMENTO CEM II/A-L 32,5 N EN SACOS	0,005 t	92,54	0,46	
	AGUA POTABLE	0,001 m	0,55	0	
		3			
	BORDILLO DE HORMIGÓN 10x20x40 cm	1 m	1,72	1,72	
	(Por redondeo)			-0,02	
	3% Costes indirectos			0,41	
2.6	u Arbusto corriente de porte medio, de variado color y vegetación, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.				14
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	0,25 h	19,23	4,81	
	PEÓN ESPECIAL	0,3 h	18,28	5,48	
	(Materiales)				
	ABONOS	0,001 t	204,9	0,2	
			5		
	ARBUSTO CORRIENTE PORTE MEDIO	1 u	3,03	3,03	
	TIERRA VEGETAL	0,3 m	8,37	2,51	
		3			
	3% Costes indirectos			0,48	
3.1	3 Zanja filtrante m3 Zahorra drenante ZA20				16,51
	(Mano de obra)				
	OFICIAL 1ª	0,03 h	19,23	0,58	
	PEÓN ESPECIAL	0,015 h	18,28	0,27	
	(Maquinaria)				
	PALA CARGADORA	0,015 h	23,87	0,36	
	RULO VIBRATORIO	0,015 h	23,28	0,35	
	(Materiales)				
	ZAHORRA ARTIFICIAL ZA20	1 m	6,19	6,19	
		3			
	3% Costes indirectos			0,23	
3.2	m3 Árido drenante para base (5-15 mm)				7,98
	(Mano de obra)				
	OFICIAL 1ª	0,03 h	19,23	0,58	
	PEÓN ESPECIAL	0,015 h	18,28	0,27	
	(Maquinaria)				
	PALA CARGADORA	0,015 h	23,87	0,36	
	RULO VIBRATORIO	0,015 h	23,28	0,35	
	(Materiales)				
	GRAVILLA DIÁM. 5 (PIÑONCITO)	1,5 m	6,97	10,46	
		3			
	3% Costes indirectos			0,36	
3.3	m3 Árido drenante para filtro de arena				12,38

3.4	(Mano de obra)				
	OFICIAL 1ª	0,03 h	19,23	0,58	
	PEÓN ESPECIAL	0,015 h	18,28	0,27	
	(Maquinaria)				
	PALA CARGADORA	0,015 h	23,87	0,36	
	RULO VIBRATORIO	0,015 h	23,28	0,35	
	(Materiales)				
	ARENA FINA	1 m 3	8,39	8,39	
	3% Costes indirectos			0,3	
					10,25
3.5	m2 Geotextil 100 gr/m2				
	(Mano de obra)				
	OFICIAL 1ª	0,002 h	19,23	0,04	
	PEÓN ESPECIAL	0,02 h	18,28	0,37	
	(Materiales)				
	TEJIDO GEOTEXTIL ANTIPUNZONAMIENTO 100 gr/m2	1 m 2	0,9	0,9	
	3% Costes indirectos			0,04	
					1,35
	m2 Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.				
	(Mano de obra)				
4.1	OF. 1ª JARDINERO	0,1 h	19,23	1,92	
	PEÓN ESPECIAL	0,3 h	18,28	5,48	
	(Materiales)				
	ABONOS	0,004 t	204,95	0,82	
	MANTILLO	0,05 m 3	16,93	0,85	
	STENOTAPHINM Y MEZCLA DE SEMILLAS ESPECIALES	1 m 2	1,02	1,02	
	TIERRA VEGETAL	0,2 m 3	8,37	1,67	
	3% Costes indirectos			0,35	
					12,11
	4 Área de bioretención				
4.1	m3 Extendido manual de tierra vegetal cribada suministrada a granel para formación de capa uniforme. Medido el volumen ejecutado.				
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	0,04 h	19,23	0,77	
	PEÓN ESPECIAL	0,4 h	18,28	7,31	
	(Materiales)				
4.1	TIERRA VEGETAL	1,03 m 3	8,37	8,62	

	3% Costes indirectos			0,5	
4.2	m2 Cubrición antihierba a base de corteza de pino extendida de forma manual, en capa uniforme de 10 cm de espesor, sobre macizo existente, incluido riego de asentamiento, medida la superficie ejecutada.				17,2
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	0,15 h	19,23	2,88	
	(Materiales)				
	AGUA DE RIEGO	0,02 m	0,55	0,01	
		3			
	CORTEZA DE PINO SELECCIONADA	0,103 m	25,6	2,64	
		3			
	3% Costes indirectos			0,17	
4.3	m3 Zahorra drenante ZA20				5,7
	(Mano de obra)				
	OFICIAL 1ª	0,03 h	19,23	0,58	
	PEÓN ESPECIAL	0,015 h	18,28	0,27	
	(Maquinaria)				
	PALA CARGADORA	0,015 h	23,87	0,36	
	RULO VIBRATORIO	0,015 h	23,28	0,35	
	(Materiales)				
	ZAHORRA ARTIFICIAL ZA20	1 m	6,19	6,19	
		3			
	3% Costes indirectos			0,23	
4.4	m3 Árido drenante para filtro de arena				7,98
	(Mano de obra)				
	OFICIAL 1ª	0,03 h	19,23	0,58	
	PEÓN ESPECIAL	0,015 h	18,28	0,27	
	(Maquinaria)				
	PALA CARGADORA	0,015 h	23,87	0,36	
	RULO VIBRATORIO	0,015 h	23,28	0,35	
	(Materiales)				
	ARENA FINA	1 m	8,39	8,39	
		3			
	3% Costes indirectos			0,3	
4.5	m2 Geotextil 100 gr/m2				10,25
	(Mano de obra)				
	OFICIAL 1ª	0,002 h	19,23	0,04	
	PEÓN ESPECIAL	0,02 h	18,28	0,37	
	(Materiales)				
	TEJIDO GEOTEXTIL ANTIPUNZONAMIENTO 100 gr/m2	1 m	0,9	0,9	
		2			
	3% Costes indirectos			0,04	

4.6	m2 Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.				1,35
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	0,1 h	19,23	1,92	
	PEÓN ESPECIAL	0,3 h	18,28	5,48	
	(Materiales)				
	ABONOS	0,004 t	204,95	0,82	
	MANTILLO	0,05 m ³	16,93	0,85	
	STENOTAPHINM Y MEZCLA DE SEMILLAS ESPECIALES	1 m ²	1,02	1,02	
	TIERRA VEGETAL	0,2 m ³	8,37	1,67	
	3% Costes indirectos			0,35	
4.7	u Arbusto especial de gran porte, variado de color y vegetación, servido con cepellón de tierra o escayolado, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos. riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.				12,11
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	0,25 h	19,23	4,81	
	PEÓN ESPECIAL	0,3 h	18,28	5,48	
	(Materiales)				
	ABONOS	0,002 t	204,95	0,41	
	ARBUSTO ESPECIAL GRAN PORTE	1 u	4,59	4,59	
	TIERRA VEGETAL	0,8 m ³	8,37	6,7	
	3% Costes indirectos			0,66	
4.8	u Plantación de Jazminuz fucticans (jazmín blanco), servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.				22,65
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	0,25 h	19,23	4,81	
	(Maquinaria)				
	RETROEXCAVADORA	0,06 h	34,98	2,1	
	(Materiales)				
	ABONO BIOLÓGICO	0,001 kg	0,02	0	
	TIERRA VEGETAL	0,03 m ³	8,37	0,25	
	JAZMINUS FRUCTICANS 80/100 cm.	1 u	9,2	9,2	
	3% Costes indirectos			0,49	

4.9	u Plantación de rosal (cualquier variedad) de 40 cm de altura, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo a mano, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.				16,85
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	0,2 h	19,23	3,85	
	(Materiales)				
	ABONO BIOLÓGICO	0,001 kg	0,02	0	
	ROSAL	1 u	7,2	7,2	
	3% Costes indirectos			0,33	
4.1 0	u Grupo de rocallas completas, incluyendo acaves, yucas, cerus, trepadoras, cetaceas, piedras rusticas especiales, distribución, plantación, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.				11,38
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	2 h	19,23	38,46	
	PEÓN ESPECIAL	2 h	18,28	36,56	
	(Materiales)				
	ABONOS	0,004 t	204,95	0,82	
	GRUPO DE ROCALLAS	1 u	116,91	116,91	
	MANTILLO	0,1 m	16,93	1,69	
	3% Costes indirectos			5,83	
4.1 1	u Plantación de bulbos de agapanto. Medida la cantidad ejecutada				200,27
	(Mano de obra)				
	PEÓN ESPECIAL	0,02 h	18,28	0,37	
	(Materiales)				
	AGAPANTHUS ALBUM CLASE I	1 u	1,5	1,5	
	3% Costes indirectos			0,06	
4.1 2	u Árbol de sombra, decorativo especial de hoja caduca de 2,50 m de altura, servido a raíz desnuda, incluso apertura de hoyo de 1x1 m, extracción de tierras, plantación y relleno de tierra vegetal, suministro de abonos, tutor de madera de castaño de 2 m de altura, conservación y riegos. Medida la cantidad ejecutada.				1,93
	(Mano de obra)				
	OF. 1ª JARDINERO	0,4 h	19,23	7,69	
	PEÓN ESPECIAL	0,52 h	18,28	9,51	
	(Maquinaria)				
	RETROEXCAVADORA	0,13 h	34,98	4,55	
	(Materiales)				
	ABONOS	0,002 t	204,95	0,41	

5.1	ÁRBOL SOMBRA HOJA CADUCA 2,50 m	1 u	5,92	5,92	
	TIERRA VEGETAL	1 m	8,37	8,37	
		3			
	TUTOR DE MADERA DE CASTAÑO 2 m	1 u	5,91	5,91	
	3% Costes indirectos			1,27	
	5 Mantenimiento				43,63
	m2 Mantenimiento SUDS				
	(Medios auxiliares)				
	Mantenimiento pavimento permeable	3.089,70 m	0,5	1.544,8	
		0 2		5	
	Mantenimiento zanja filtrante	350 m	0,27	94,5	
		2			
	Mantenimiento área biorretención	225 m	0,27	60,75	
		2			
	3% Costes indirectos			51	
6.1	6 Partidas alzadas				1.751,10
	PA Señalización horizontal y vertical. Incluye replanteo.				
	Sin descomposición			8.550,00	
	3% Costes indirectos			256,5	
					8.806,50
	PA Medidas a llevar a cabo al finalizar las obras, para su limpieza y terminación definitiva: limpieza de la zona de obras con la retirada de escombros y acopios de materiales, seguida de un lavado y barrido de la zona de obra.				
	Sin descomposición			6.400,00	
	3% Costes indirectos			192	
					6.592,00
	PA Pago del Estudio Básico de Seguridad y Salud del presente TFM.				
6.3	Sin descomposición			1.257,05	
	3% Costes indirectos			37,71	
					1.294,76

3. PRESUPUESTO POR CAPITULOS

Presupuesto parcial nº 1 Movimiento de tierras

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
1.1 01.1	m2	Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos. Medida la superficie en verdadera magnitud.	3.664,700	0,18	659,65
1.2 01.2	m3	Excavación, en vaciado, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos, incluso p.p. de perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	1.544,850	0,90	1.390,37
1.3 01.3	m3	Excavación, en zanjas, de tierras de consistencia blanda, realizada con medios mecánicos hasta una profundidad máxima de 4 m, incluso extracción a los bordes y perfilado de fondos y laterales. Medido el volumen en perfil natural.	1.062,500	2,89	3.070,63
Total presupuesto parcial nº 1 Movimiento de tierras :					5.120,65

Presupuesto parcial nº 2 Pavimento permeable

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.1 02.1	m3	Zahorra drenante ZA20	1.081,395	7,98	8.629,53
2.2 02.2	m2	Mezcla bituminosa porosa PA16	6.179,400	10,16	62.782,70
2.3 02.3	m2	Geotextil 100 gr/m2	6.179,400	1,35	8.342,19
2.4 02.4	m3	Árido drenante para base (16-20 mm)	154,485	14,24	2.199,87
2.5 02.5	m	Bordillo prefabricado de hormigón HM-40 achaflanado, de 10x20 cm de sección, asentado sobre base de hormigón HM-20, incluso p.p. de rejuntado con mortero (1:1). Medida la longitud ejecutada.	219,840	14,00	3.077,76

2.6 02.6	u	Arbusto corriente de porte medio, de variado color y vegetación, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	6,000	16,51	99,06
----------	---	---	-------	-------	-------

Total presupuesto parcial nº 2 Pavimento permeable : 85.131,11

Presupuesto parcial nº 3 Zanja filtrante

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
3.1 03.1	m3	Zahorra drenante ZA20	501,000	7,98	3.997,98
3.2 03.3	m3	Árido drenante para base (5-15 mm)	33,400	12,38	413,49
3.3 03.4	m3	Árido drenante para filtro de arena	50,100	10,25	513,53
3.4 03.2	m2	Geotextil 100 gr/m2	334,000	1,35	450,90
3.5 03.5	m2	Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.	334,000	12,11	4.044,74
Total presupuesto parcial nº 3 Zanja filtrante :					9.420,64

Presupuesto parcial nº 4 Área de biorretención

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
4.1 15JWW90003	m3	Extendido manual de tierra vegetal cribada suministrada a granel para formación de capa uniforme. Medido el volumen ejecutado.	7,200	17,20	123,84

4.2 15JTT90004	m2	Cubrición antihierba a base de corteza de pino extendida de forma manual, en capa uniforme de 10 cm de espesor, sobre macizo existente, incluido riego de asentamiento, medida la superficie ejecutada.	14,400	5,70	82,08
4.3 6.8	m3	Zahorra drenante ZA20	172,800	7,98	1.378,94
4.4 8	m3	Árido drenante para filtro de arena	28,800	10,25	295,20
4.5 3.4	m2	Geotextil 100 gr/m2	175,200	1,35	236,52
4.6 15JTT00002	m2	Suministro de stenotaphrum y mezclas de semillas especiales para la formación de un césped permanente, incluso cava de las tierras y preparación del terreno, nivelación, refino, siembra, mantillo, abonos, conservación y riegos. Medida la superficie ejecutada.	238,800	12,11	2.891,87
4.7 15JPP00005	u	Arbusto especial de gran porte, variado de color y vegetación, servido con cepellón de tierra o escayolado, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos. Riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	4,000	22,65	90,60
4.8 15JPP90008	u	Plantación de Jazminuz fucticans (jazmín blanco), servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	1,000	16,85	16,85
4.9 15JPP90009	u	Plantación de rosal (cualquier variedad) de 40 cm de altura, servido a raíz desnuda o en maceta, incluso apertura de hoyo a mano, plantación, suministro de abonos, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	4,000	11,38	45,52
4.10 15JPP00003	u	Grupo de rocallas completas, incluyendo 130etáce, yucas, cerus, trepadoras, 130etáceas, piedras rusticas especiales, distribución, plantación, riegos y conservación. Medida la cantidad ejecutada.	1,000	200,27	200,27

4.11 15JPP90015	u	Plantación de bulbos de agapanto. Medida la cantidad ejecutada	4,000	1,93	7,72
4.12 15JAA00001	u	Árbol de sombra, decorativo especial de hoja caduca de 2,50 m de altura, servido a raíz desnuda, incluso apertura de hoyo de 1x1 m, extracción de tierras, plantación y relleno de tierra vegetal, suministro de abonos, tutor de madera de castaño de 2 m de altura, conservación y riegos. Medida la cantidad ejecutada.	1,000	43,63	43,63
Total presupuesto parcial nº 4 Área de biorretención :					5.413,04

Presupuesto parcial nº 5 Mantenimiento

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
5.1 04.01	m2	Mantenimiento SUDS	1,000	1.751,10	1.751,10
Total presupuesto parcial nº 5 Mantenimiento :					1.751,10

Presupuesto parcial nº 6 Partidas alzadas

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
6.1 06.1	PA	Señalización horizontal y vertical. Incluye replanteo.	1,000	8.806,50	8.806,50
6.2 06.2	PA	Medidas a llevar a cabo al finalizar las obras, para su limpieza y terminación definitiva: limpieza de la zona de obras con la retirada de escombros y acopios de materiales, seguida de un lavado y barrido de la zona de obra.	1,000	6.592,00	6.592,00
6.3 06.3	PA	Pago del Estudio Básico de Seguridad y Salud del presente TFM.	1,000	1.294,76	1.294,76
Total presupuesto parcial nº 6 Partidas alzadas :					16.693,26

4. PRESUPUESTO GENERAL

Capítulo	Resumen	Importe
1	Movimiento de tierras	5.120,65
2	Pavimento permeable	85.131,11
3	Zanja filtrante	9.420,64
4	Área de biorretención	5.413,04
5	Mantenimiento	1.751,10
6	Partidas alzadas	16.693,26
	Presupuesto de ejecución material	123.529,80
	13% de gastos generales	16.058,87
	6% de beneficio industrial	7.411,79
	Suma	147.000,46
	21% IVA	30.870,10
	Presupuesto de ejecución por contrata	177.870,56

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CIENTO SETENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS SETENTA EUROS Y CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS.